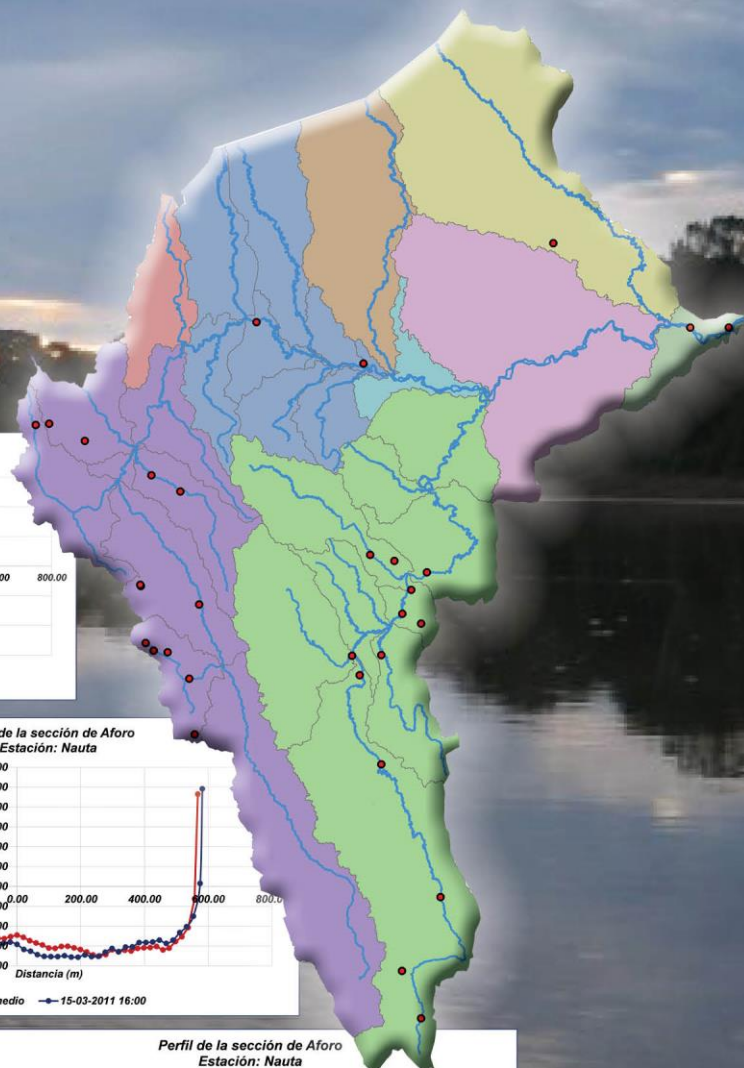


# ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE LA SECCIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL EN LOS PUNTOS DE CONTROL HIDROMÉTRICO DE RÍOS AMAZÓNICOS CASO: CUENCA MARAÑÓN



# **ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE LA SECCIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL EN LOS PUNTOS DE CONTROL HIDROMÉTRICO DE RÍOS AMAZÓNICOS CASO: CUENCA MARAÑÓN**



## DIRECTORIO

Dr. Ken Takahashi Guevara  
Presidente Ejecutivo del SENAMHI

Ing. Oscar Felipe Obando  
Director de la Dirección de Hidrología del SENAMHI

Mg. Sc. Julia Acuña Azarte  
Subdirectora de Estudios e Investigaciones Hidrológicas del  
SENAMHI

## REVISOR DEL ESTUDIO

Mg. Sc. Julia Acuña Azarte  
Subdirectora de Estudios e Investigaciones Hidrológicas del  
SENAMHI

RESPONSABLE DEL ESTUDIO  
Dr. Juan Julio Ordoñez Gálvez  
Especialista en Hidrología del SENAMHI

Lima - Perú  
Diciembre - 2017

---

**Citar como:**

Ordoñez, J. Análisis de la variabilidad de la sección hidráulica fluvial en los puntos de control hidrométrico de ríos amazónicos. Caso: Cuenca Marañón. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Dirección de Hidrología. Diciembre, 2017.



## ÍNDICE

ÍNDICE.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN .....	15
1.1 Justificación .....	16
1.2 Objetivos .....	16
1.2.1 Objetivo general .....	16
1.2.2 Objetivos específicos .....	16
2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Estudios de referencia.....	17
2.2 La cuenca Amazonica .....	23
2.3 Aspectos conceptuales.....	32
2.3.1 Sección transversal.....	32
2.3.2 Sistemas naturales.....	32
2.3.3 Hidrología .....	33
2.4 Hidraulica Fluvial .....	34
2.4.1 Función del río.....	35
2.4.2 Dinámica vertical .....	35
2.4.3 Transporte de Sedimentos .....	36
2.4.4 Disposición de los sedimentos .....	36
2.4.5 Vegetación de ribera .....	37
2.4.6 Equilibrio del lecho del río.....	37
2.4.7 Perfil de velocidad .....	38
2.4.8 Cauce .....	40
2.5 Aforo en grandes ríos Amazonicos.....	41
2.5.1 Aforo liquido.....	41
2.5.2 Aforo solido en suspensión .....	44
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
3.1 Área de estudio .....	45
3.1.1 Clima.....	47
3.1.2 Población .....	49
3.1.3 Deforestación .....	53
3.1.4 Sistema Hidrografico .....	55
3.1.5 Potencial hidroenergetico .....	61
3.2 Datos.....	64
3.2.1 Estaciones de Aforo .....	68
3.2.2 Equipos ADCP .....	70
3.3 Metodos .....	72
3.3.1 Diseño de investigación.....	72
3.3.2 Hipótesis .....	73
3.3.3 Identificación de variables.....	73
3.3.4 Población, muestra y muestreo .....	74

3.3.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	75
3.3.6	Análisis estadístico .....	76
4.	RESULTADOS Y DISCUSION .....	80
4.1	Variabilidad espacial de la precipitación en la cuenca Marañón .....	80
4.2	Variabilidad espacial de la red hidrométrica .....	80
4.3	Análisis de curvas altura gasto por estación .....	82
4.3.1	Estación Borja .....	82
4.3.2	Estación Chazuta .....	92
4.3.3	Estación Picota .....	102
4.3.4	Estación Nueva York .....	110
4.3.5	Estación San Regis .....	118
4.4	Distribución de velocidades .....	130
4.4.1	Estación Borja .....	131
4.4.2	Estación Chazuta .....	151
4.4.3	Estación Yurimaguas .....	173
4.4.4	Estación Nueva York .....	180
4.4.5	Estación Picota .....	195
4.4.6	Estación Santiago .....	210
4.4.7	Estación San Regis .....	225
4.5	Perfil de secciones transversales .....	246
4.5.1	Estación Borja .....	247
4.5.2	Estación Chazuta .....	257
4.5.3	Estación Picota .....	265
4.5.4	Estación Nueva York .....	271
4.5.5	Estación San Regis .....	279
4.5.6	Estación Nauta .....	288
4.6	Regionalización de parámetros hidráulicos .....	297
4.7	Discusión .....	301
4.7.1	Caracterización del régimen de lluvias .....	301
4.7.2	Red de estaciones hidrológicas .....	301
4.7.3	Sobre la variabilidad de la distribución vertical .....	302
4.7.4	Sobre Secciones Transversales .....	307
5.	CONCLUSIONES .....	309
6.	RECOMENDACIONES .....	317
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	318

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1. Comportamiento del sedimento en suspensión para el río Marañón (estaciones de Borja, San Regis y Tamishuyacu). Período 2004 / 2006 .....	17
Figura 2-2 Cuenca del río Ucayali .....	18
Figura 2-3 Esquema del río Amazonas .....	19
Figura 2-4 Avance del río Amazonas al río Itaya .....	20
Figura 2-5 Zona de estudio río Amazonas .....	20
Figura 2-6 Red de observación hidrológica .....	21
Figura 2-7. Cuenca del río Amazonas .....	22
Figura 2-8. Cuenca del río Amazonas .....	22
Figura 2-9 Evolución histórica del río Amazonas .....	23
Figura 2-10 Déficit de precipitaciones durante el 2005 y 2010 en la cuenca Amazónica .....	26
Figura 2-11. Inundación en la quebrada de Yanayacu, afluente del río Paranapura – Alto Amazonas, Marzo 2013 .....	28
Figura 2-12 Procesos de la Geomorfología del río .....	30
Figura 2-13 Esquema para la descripción morfológica .....	30
Figura 2-14 Porcentaje de partículas finas .....	31
Figura 2-15. Esquema del Balance de la línea de energía .....	32
Figura 2-16 Cambios en los tipos de canales en tres dominios de proceso. El caudal, el tamaño del canal y las características del sedimento cambian a lo largo del perfil longitudinal. ....	33
Figura 2-17 Tipología fluvial, según Rosgen (1996).....	34
Figura 2-18. Río Bernesga, erosión .....	35
Figura 2-19 Río Bernesga, sedimentos.....	36
Figura 2-20 Deposición de sedimentos .....	36
Figura 2-21. Bosque ribereño.....	37
Figura 2-22. Analogía de la balanza de Lane .....	38
Figura 2-23 Perfiles de velocidad en el río .....	39
Figura 2-24. Distribución de tensiones y de velocidad en el cauce del río .....	39
Figura 2-25. Partes del cauce de un río.....	41
Figura 2-26. ADCP instalado en el bote para aforo .....	42
Figura 2-27 Laptop para registrar el aforo .....	42
Figura 2-29. ADCP .....	43
Figura 2-30 Puntos de muestreo de sedimentos .....	44
Figura 2-31 a) muestras en superficie b) Muestreados de profundidad.....	45
Figura 3-1 Unidades hidrográficas de la cuenca del río Marañón.....	46
Figura 3-2. Cuenca del río Marañón.....	47
Figura 3-3. Clasificación climática de la cuenca del río Marañón .....	48
Figura 3-4. Región de San Martín.....	50
Figura 3-5. Comunidades nativas en la cuenca del río Marañón .....	51
Figura 3-6 Índice de Desarrollo Humano del Perú – IDH .....	52
Figura 3-7 Deforestación de la Amazonía Peruana .....	53
Figura 3-8 Madera aserrada por especie .....	54
Figura 3-9. Niveles de reforestación a nivel nacional .....	55
Figura 3-10. a) Río Imaza, b) Río Nieva, c) Río Chinchipe y d) Río Santiago .....	57
Figura 3-11. a) Río Sarameriza y b) Río Huallaga.....	58
Figura 3-12 a) Río Mayo y b) Río Monzón .....	60
Figura 3-13. a) Río Tigre y b) Río Pastaza .....	60
Figura 3-14 Ubicación de Centrales Hidroeléctrica a lo largo del río Marañón .....	61

Figura 3-15. Construcción de la Central Hidroeléctrica de Chaglla .....	63
Figura 3-16 Distribución espacial de la red observacional seleccionada .....	67
Figura 3-17 Ubicación de la red observacional hidrológica en la cuenca del río Marañón.....	68
Figura 3-18 Cantidad total de Aforos por estaciones Hidrológicas .....	69
Figura 3-19 Vista de las componentes del ADCP y su instalación para realizar los aforos .....	70
Figura 3-20. Distribución de la magnitud de velocidad (m/s) del río Amazonas .....	71
Figura 3-21. Dirección y magnitud de la velocidad del bote a través del aforo .....	71
Figura 3-22 Ventas de navegación y Caudal.....	72
Figura 3-23. Tipos de distribución para análisis de regresión .....	78
Figura 4-1 Comportamiento pluviométrico mensual para la cuenca del río Marañón.....	80
Figura 4-2. Variabilidad altitudinal dela red observacional hidrológica – cuenca del río Marañón.....	81
Figura 4-3 Análisis de regresión red de estaciones a) Latitud y Altitud b) Longitud y Altitud .....	81
Figura 4-4 Análisis de la curva Altura de mira – Caudal Estación Borja .....	84
Figura 4-5 Análisis de la curva Altura de mira – Área mojada Estación Borja.....	85
Figura 4-6. Análisis de la curva Altura de mira – Perímetro mojado Estación Borja.....	85
Figura 4-7. Análisis de la curva Altura de mira – Velocidad superficial Estación Borja.....	86
Figura 4-8 Análisis de la curva Altura de mira – Velocidad media estación Borja .....	87
Figura 4-9. Análisis de la velocidad superficial y la velocidad media estación Borja .....	87
Figura 4-10 Análisis de la curva Altura de mira – Ancho de la sección Estación Borja.....	88
Figura 4-11 Sección de aforo de la estación Borja .....	88
Figura 4-12 Análisis de la curva Altura de mira – Radio hidráulico estación Borja .....	89
Figura 4-13. Análisis de la curva Caudal – Área mojada estación Borja .....	90
Figura 4-14 Análisis de la curva Caudal – Velocidad superficial .....	90
Figura 4-15 Análisis de la curva Caudal – Velocidad media estación Borja.....	91
Figura 4-16. Análisis de la curva Caudal – Radio hidráulico .....	92
Figura 4-18. Análisis de la curva Altura de mira – Área mojada Estación Chazuta .....	95
Figura 4-19. Análisis de la curva Altura de mira – Perímetro mojado Estación Chazuta .....	96
Figura 4-20. Análisis de la curva Altura de mira – Velocidad superficial Estación Chazuta .....	97
Figura 4-21. Análisis de la curva Altura de mira – Velocidad media Estación Chazuta .....	97
Figura 4-22 Análisis de la velocidad superficial y la velocidad media Estación Chazuta.....	98
Figura 4-23. Análisis de la curva Altura de mira – Ancho de la sección Estación Chazuta .....	98
Figura 4-24. Sección de aforo de la estación Chazuta.....	99
Figura 4-25. Análisis de la curva Altura de mira – Radio hidráulico estación Chazuta.....	99
Figura 4-26 Análisis de la curva Caudal – Área mojada estación Chazuta .....	100
Figura 4-27. Análisis de la curva Caudal – Velocidad superficial estación Chazuta.....	100
Figura 4-28. Análisis de la curva Caudal – Velocidad media estación Chazuta .....	101
Figura 4-29. Análisis de la curva Caudal – Radio hidráulico estación Chazuta .....	101
Figura 4-30 Análisis de la curva Altura de mira – Caudal Estación Picota.....	103
Figura 4-31. Análisis de la curva Altura de mira – Área mojada Estación Picota .....	104
Figura 4-32. Análisis de la curva Altura de mira – Perímetro mojado Estación Picota .....	104
Figura 4-33 Análisis de la curva Altura de mira – Velocidad superficial Estación Picota .....	105
Figura 4-34. Análisis de la curva Altura de mira – Velocidad media Estación Picota .....	105
Figura 4-35. Análisis de la velocidad superficial y la velocidad media Estación Picota.....	106
Figura 4-36 Análisis de la curva Altura de mira – Ancho de la sección Estación Picota .....	106
Figura 4-37. Sección de aforo de la estación Picota.....	107
Figura 4-38. Análisis de la curva Altura de mira – Radio hidráulico Estación Picota.....	107
Figura 4-39 Análisis de la curva Caudal – Área mojada Estación Picota .....	108
Figura 4-40. Análisis de la curva Caudal – Velocidad superficial Estación Picota.....	108
Figura 4-41. Análisis de la curva Caudal – Velocidad media Estación Picota .....	109

Figura 4-42. Análisis de la curva Caudal – Radio hidráulico Estación Picota .....	109
Figura 4-43. Análisis de la curva Altura de mira – Caudal estación Nueva York .....	111
Figura 4-44. Análisis de la curva Altura de mira – Área mojada estación Nueva York .....	112
Figura 4-45. Análisis de la curva Altura de mira – Perímetro mojado estación Nueva York .....	112
Figura 4-46. Análisis de la curva Altura de mira – Velocidad superficial estación Nueva York .....	113
Figura 4-47. Análisis de la curva Altura de mira – Velocidad media estación Nueva York .....	114
Figura 4-48. Análisis de la velocidad superficial y la velocidad media estación Nueva York .....	114
Figura 4-49. Análisis de la curva Altura de mira – Ancho de la sección estación Nueva York .....	115
Figura 4-50. Sección de aforo de la estación Nueva York .....	115
Figura 4-52 Análisis de la curva Caudal – Área mojada estación Nueva York .....	116
Figura 4-53. Análisis de la curva Caudal – Velocidad superficial estación Nueva York .....	117
Figura 4-54 Análisis de la curva Caudal – Velocidad media estación Nueva York .....	117
Figura 4-55. Análisis de la curva Caudal – Radio hidráulico estación Nueva York .....	118
Figura 4-56. Análisis de la curva Altura de mira – Caudal Estación San Regis .....	122
Figura 4-57. Análisis de la curva Altura de mira – Área mojada Estación San Regis .....	123
Figura 4-58. Análisis de la curva Altura de mira – Perímetro mojado Estación San Regis .....	123
Figura 4-59. Análisis de la curva Altura de mira – Velocidad superficial .....	124
Figura 4-60. Análisis de la curva Altura de mira – Velocidad media .....	125
Figura 4-61. Análisis de la velocidad superficial y la velocidad media .....	125
Figura 4-62. Análisis de la curva Altura de mira – Ancho de la sección .....	126
Figura 4-63. Sección de aforo de la estación San Regis .....	126
Figura 4-64. Análisis de la curva Altura de mira – Radio hidráulico estación San Regis .....	127
Figura 4-65. Análisis de la curva Caudal – Área mojada estación San Regis .....	128
Figura 4-66. Análisis de la curva Caudal – Velocidad superficial estación San Regis .....	128
Figura 4-67. Análisis de la curva Caudal – Velocidad media estación San Regis .....	129
Figura 4-68. Análisis de la curva Caudal – Radio hidráulico .....	129
Figura 4-69 Distribución de la velocidad media de la sección del río .....	131
Figura 4-70. Perfil de velocidad vertical punto 30 m de la MI .....	132
Figura 4-71. Perfil de velocidad vertical punto 200 m de la MI .....	132
Figura 4-72 Perfil de velocidad vertical punto 250 m de la MI .....	133
Figura 4-73. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	133
Figura 4-74. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 8,0 m de profundidad .....	134
Figura 4-75 Perfil de velocidad vertical punto 30 m de la MI .....	135
Figura 4-76 Perfil de velocidad vertical punto 200 m de la MI .....	136
Figura 4-77. Perfil de velocidad vertical punto 230 m de la MI .....	136
Figura 4-78. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	137
Figura 4-79. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 8,0 m de profundidad .....	138
Figura 4-80 Perfil de velocidad vertical punto 30 m de la MI .....	139
Figura 4-81. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI .....	139
Figura 4-82. Perfil de velocidad vertical punto 250 m de la MI .....	140
Figura 4-83. Perfil de velocidad vertical promedio en la sección .....	140
Figura 4-84. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 8,0 m de profundidad .....	141
Figura 4-85 Perfil de velocidad vertical punto 30 m de la MI .....	142
Figura 4-86. Perfil de velocidad vertical punto 200 m de la MI .....	143
Figura 4-87. Perfil de velocidad vertical punto 230 m de la MI .....	143
Figura 4-88. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	144



Figura 4-90. Perfil de velocidad vertical punto 30 m de la MI .....	146
Figura 4-91. Perfil de velocidad vertical punto 200 m de la MI .....	146
Figura 4-92. Perfil de velocidad vertical punto 230 m de la MI .....	147
Figura 4-93. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	147
Figura 4-94. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades.....	148
a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 8,0 m .....	148
Figura 4-95. Perfil de velocidad vertical punto 30 m de la MI .....	149
Figura 4-96. Perfil de velocidad vertical punto 200 m de la MI .....	149
Figura 4-97. Perfil de velocidad vertical punto 230 m de la MI .....	150
Figura 4-98. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	150
Figura 4-99. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 8,0 m de profundidad .....	151
Figura 4-100. Distribución de la velocidad media de la sección del río .....	152
Figura 4-101. Perfil de velocidad vertical punto 50 m de la MI .....	153
Figura 4-102. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI .....	154
Figura 4-103. Perfil de velocidad vertical punto 220 m de la MI .....	154
Figura 4-104. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	155
Figura 4-105. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades a) Superficial, b) 2,5 metros y c) 4,0 m de profundidad .....	156
Figura 4-106. Perfil de velocidad vertical punto 50 m de la MI .....	157
Figura 4-107. Perfil de velocidad vertical punto 100 m de la MI .....	157
Figura 4-108. Perfil de velocidad vertical punto 230 m de la MI .....	158
Figura 4-109. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	158
Figura 4-110. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades a) Superficial, b) a 2,5 metros y c) a 4,0 m de profundidad .....	159
Figura 4-111. Perfil de velocidad vertical punto 50 m de la MI .....	160
Figura 4-112. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI .....	160
Figura 4-113. Perfil de velocidad vertical punto 230 m de la MI .....	161
Figura 4-114. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	161
Figura 4-115. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 6,5 m de profundidad .....	162
Figura 4-116. Perfil de velocidad vertical punto 50 m de la MI .....	163
Figura 4-117. Perfil de velocidad vertical punto 200 m de la MI .....	164
Figura 4-118. Perfil de velocidad vertical punto 300 m de la MI .....	164
Figura 4-119. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	165
Figura 4-120. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades.....	166
Figura 4-121. Perfil de velocidad vertical punto 50 m de la MI .....	167
Figura 4-122. Perfil de velocidad vertical punto 100 m de la MI .....	167
Figura 4-123. Perfil de velocidad vertical punto 230 m de la MI .....	167
Figura 4-124. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	168
Figura 4-125. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades.....	169
a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 8,0 m de profundidad.....	169
Figura 4-126. Perfil de velocidad vertical punto 50 m de la MI .....	170
Figura 4-127. Perfil de velocidad vertical punto 100 m de la MI .....	170
Figura 4-128. Perfil de velocidad vertical punto 250 m de la MI .....	171
Figura 4-129. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	171
Figura 4-130. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 8,0 m de profundidad .....	172
Figura 4-131. Distribución de la velocidad media de la sección del río .....	173

Figura 4-132. Perfil de velocidad vertical punto 60 m de la MI .....	174
Figura 4-133. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI .....	175
Figura 4-134. Perfil de velocidad vertical punto 210 m de la MI .....	175
Figura 4-135. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	176
Figura 4-136. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades. a) Superficial, b) 2,5 metros y c) 5,0 m de profundidad .....	177
Figura 4-137. Perfil de velocidad vertical punto 60 m de la MI .....	178
Figura 4-138. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI .....	178
Figura 4-139. Perfil de velocidad vertical punto 240 m de la MI .....	179
Figura 4-140. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	179
Figura 4-141. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades .....	180
Figura 4-142. Distribución de la velocidad media de la sección del río .....	181
Figura 4-143. Perfil de velocidad vertical punto 30 m de la MI .....	182
Figura 4-144. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI .....	183
Figura 4-145. Perfil de velocidad vertical punto 205 m de la MI .....	183
Figura 4-146. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	184
Figura 4-147. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades .....	185
Figura 4-148. Perfil de velocidad vertical punto 60 m de la MI .....	186
Figura 4-149. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI .....	186
Figura 4-150. Perfil de velocidad vertical punto 190 m de la MI .....	187
Figura 4-151. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	187
Figura 4-152. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades .....	188
Figura 4-153. Perfil de velocidad vertical punto 60 m de la MI .....	189
Figura 4-154. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI .....	189
Figura 4-155. Perfil de velocidad vertical punto 240 m de la MI .....	190
Figura 4-156. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	190
Figura 4-157. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades .....	191
Figura 4-158. Perfil de velocidad vertical punto 30 m de la MI .....	192
Figura 4-159. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI .....	193
Figura 4-160. Perfil de velocidad vertical punto 240 m de la MI .....	193
Figura 4-161. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	194
Figura 4-162. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades .....	195
Figura 4-163. Distribución de la velocidad media de la sección del río .....	196
Figura 4-164. Perfil de velocidad vertical punto 90 m de la MI .....	197
Figura 4-165. Perfil de velocidad vertical punto 210 m de la MI .....	198
Figura 4-166. Perfil de velocidad vertical punto 300 m de la MI .....	198
Figura 4-167. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	199
Figura 4-168. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades. a) Superficial, b) 2,0 metros y c) 3,0 m de profundidad .....	200
Figura 4-169. Perfil de velocidad vertical punto 90 m de la MI .....	201
Figura 4-170. Perfil de velocidad vertical punto 210 m de la MI .....	201
Figura 4-171. Perfil de velocidad vertical punto 300 m de la MI .....	202
Figura 4-172. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	202
Figura 4-173. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades .....	203
Figura 4-174. Perfil de velocidad vertical punto 90 m de la MI .....	204
Figura 4-175. Perfil de velocidad vertical punto 180 m de la MI .....	204
Figura 4-176. Perfil de velocidad vertical punto 300 m de la MI .....	205
Figura 4-178. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades .....	206
Figura 4-179. Perfil de velocidad vertical punto 60 m de la MI .....	207

Figura 4-180. Perfil de velocidad vertical punto 120 m de la MI .....	208
Figura 4-181. Perfil de velocidad vertical punto 180 m de la MI .....	208
Figura 4-182. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	209
Figura 4-183. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades a) Superficial, b) 2,0 metros y c) 3,0 m de profundidad .....	210
Figura 4-184 Distribución de la velocidad media de la sección del río .....	211
Figura 4-185. Perfil de velocidad vertical punto 30 m de la MI .....	212
Figura 4-186. Perfil de velocidad vertical punto 60 m de la MI .....	213
Figura 4-187. Perfil de velocidad vertical punto 120 m de la MI .....	213
Figura 4-188. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	214
Figura 4-189. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades .....	215
Figura 4-190. Perfil de velocidad vertical punto 30 m de la MI .....	216
Figura 4-191. Perfil de velocidad vertical punto 90 m de la MI .....	216
Figura 4-192. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI .....	217
Figura 4-193. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	217
Figura 4-194. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades .....	218
Figura 4-195. Perfil de velocidad vertical punto 60 m de la MI .....	219
Figura 4-196. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI .....	219
Figura 4-197. Perfil de velocidad vertical punto 240 m de la MI .....	220
Figura 4-198. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	220
Figura 4-199. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades .....	221
Figura 4-200. Perfil de velocidad vertical punto 60 m de la MI .....	222
Figura 4-201. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI .....	223
Figura 4-202. Perfil de velocidad vertical punto 240 m de la MI .....	223
Figura 4-203. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	224
Figura 4-204. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades. a) Superficial, b) 4,0 metros y c) 8,0 m de profundidad .....	225
Figura 4-205. Distribución de la velocidad media de la sección del río .....	226
Figura 4-206. Perfil de velocidad vertical punto 160 m de la MI .....	227
Figura 4-207. Perfil de velocidad vertical punto 460 m de la MI .....	228
Figura 4-208. Perfil de velocidad vertical punto 650 m de la MI .....	228
Figura 4-209. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	229
Figura 4-210. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades .....	230
Figura 4-211. Perfil de velocidad vertical punto 160 m de la MI .....	231
Figura 4-212. Perfil de velocidad vertical punto 460 m de la MI .....	231
Figura 4-213. Perfil de velocidad vertical punto 650 m de la MI .....	232
Figura 4-214. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	232
Figura 4-215. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades a) .....	233
Figura 4-216. Perfil de velocidad vertical punto 160 m de la MI .....	234
Figura 4-217. Perfil de velocidad vertical punto 460 m de la MI .....	234
Figura 4-218. Perfil de velocidad vertical punto 650 m de la MI .....	235
Figura 4-219. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	235
Figura 4-220. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades .....	236
Figura 4-221. Perfil de velocidad vertical punto 160 m de la MI .....	237
Figura 4-222. Perfil de velocidad vertical punto 560 m de la MI .....	237
Figura 4-223. Perfil de velocidad vertical punto 750 m de la MI .....	238
Figura 4-224. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	238
Figura 4-225. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades .....	239
Figura 4-226. Perfil de velocidad vertical punto 160 m de la MI .....	240

Figura 4-227. Perfil de velocidad vertical punto 560 m de la MI .....	241
Figura 4-228. Perfil de velocidad vertical punto 750 m de la MI .....	241
Figura 4-229. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	242
Figura 4-230. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades. a) Superficial, b) 8,0 metros y c) 16,0 m de profundidad .....	243
Figura 4-232. Perfil de velocidad vertical punto 560 m de la MI .....	244
Figura 4-233. Perfil de velocidad vertical punto 750 m de la MI .....	245
Figura 4-234. Perfil de velocidad vertical media de la sección .....	245
Figura 4-235. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades. a) Superficial, b) 8,0 metros y c) 16,0 m de profundidad .....	246
Figura 4-236 Distribución de la cantidad de aforos .....	247
Figura 4-237. Distribución del perfil de la sección de aforo.....	248
Figura 4-238. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio .....	250
Figura 4-239. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo .....	251
Figura 4-240. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio .....	254
Figura 4-241. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo .....	255
Figura 4-242. Perfiles de velocidad superficial del bote, en el momento del aforo .....	256
Figura 4-243. Distribución del perfil de la sección de aforo.....	257
Figura 4-244. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio .....	259
Figura 4-245. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo .....	260
Figura 4-246. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio .....	263
Figura 4-247. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo .....	264
Figura 4-248. Perfiles de velocidad superficial del bote, en el momento del aforo .....	265
Figura 4-249. Distribución del perfil de la sección de aforo.....	266
Figura 4-250. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio .....	268
Figura 4-251. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo .....	269
Figura 4-252. Perfiles de velocidad superficial del bote, en el momento del aforo .....	270
Figura 4-253. Distribución del perfil de la sección de aforo.....	271
Figura 4-254. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio .....	273
Figura 4-255. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo .....	274
Figura 4-256. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio .....	276
Figura 4-257. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo .....	277
Figura 4-258. Perfiles de velocidad superficial del bote, en el momento del aforo .....	278
Figura 4-256. Distribución del perfil de la sección de aforo.....	279
Figura 4-260. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio .....	281
Figura 4-261. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo .....	282
Figura 4-262. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio .....	285
Figura 4-263. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo .....	286
Figura 4-264. Perfiles de velocidad superficial del bote, en el momento del aforo .....	287
Figura 4-265. Distribución del perfil de la sección de aforo.....	288
Figura 4-266. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio .....	290
Figura 4-267. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo .....	292
Figura 4-268. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio .....	294
Figura 4-269. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo .....	295
Figura 4-270. Perfiles de velocidad superficial del bote, en el momento del aforo .....	296
Figura 4-271. Comportamiento del área de la sección de aforo.....	297
Figura 4-272. Análisis de regresión de los parámetros hidráulicos.....	298
Figura 4-273. Comportamiento del área de la sección de aforo.....	299
Figura 4-274. Análisis de regresión de los parámetros hidráulicos.....	300

## LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1. Cuenca del río Marañón – Nivel 4 .....	46
Tabla 3-2 Característica climática de la cuenca del río Marañón .....	48
Tabla 3-3 Desarrollo Poblacional en la Región San Martín .....	50
Tabla 3-4. Número de comunidades nativas tituladas y pendientes .....	51
Tabla 3-5. Regiones con superficies deforestadas .....	54
Tabla 3-6 Proyectos identificados en la cuenca del río Marañón .....	62
Tabla 3-7 Red hidrometeorológica básica de la cuenca del río Marañón .....	65
Tabla 3-8 Relación de estaciones hidrológica en la cuenca del río Marañón .....	67
Tabla 3-9 Relación de estaciones de control de aforo .....	69
Tabla 3-10 Definición conceptual de las variables .....	73
Tabla 3-11 Definición conceptual de las variables .....	74
Tabla 3-12 Técnicas e instrumentos de investigación seleccionadas .....	75
Tabla 4-1 Número de aforos realizados en la estación Borja .....	82
Tabla 4-2. Relación de aforos realizados en la estación hidrológica de Borja - Marañón .....	83
Tabla 4-3 Número de aforos realizados en la estación Chazuta .....	93
Tabla 4-4 Relación de aforos realizados en la estación hidrológica de Chazuta - Huallaga .....	94
Tabla 4-5. Número de aforos realizados en la estación Picota .....	102
Tabla 4-6. Relación de aforos realizados en la estación hidrológica de Picota - Huallaga .....	103
Tabla 4-7. Número de aforos realizados en la estación Nueva York .....	110
Tabla 4-8 Relación de aforos realizados en la estación hidrológica de Nueva York .....	110
Tabla 4-9. Número de aforos realizados en la estación San Regis .....	119
Tabla 4-10. Relación de aforos realizados en la estación hidrológica de San Regis .....	120
Tabla 4-11 Secciones hidráulicas con velocidades .....	130
Tabla 4-12 Secciones hidráulicas con velocidades .....	152
Tabla 4-13. Secciones hidráulicas con velocidades .....	173
Tabla 4-14. Secciones hidráulicas con velocidades .....	181
Tabla 4-15. Secciones hidráulicas con velocidades .....	196
Tabla 4-16. Secciones hidráulicas con velocidades .....	211
Tabla 4-17. Secciones hidráulicas con velocidades .....	226
Tabla 4-18. Secciones transversales en la estación Borja .....	248
Tabla 4-19. Parámetros hidráulicos del río Marañón - Estación Borja .....	249
Tabla 4-20. Parámetros hidráulicos del río Marañón - Estación Borja .....	253
Tabla 4-21. Secciones hidráulicas – estación Chazuta .....	257
Tabla 4-22. Parámetros hidráulicos del río Huallaga - Estación Chazuta .....	258
Tabla 4-23. Parámetros hidráulicos del río Huallaga - Estación Chazuta .....	262
Tabla 4-24. Secciones hidráulicas – estación Picota .....	266
Tabla 4-25 Parámetros hidráulicos del río Huallaga - Estación Picota .....	267
Tabla 4-26. Secciones hidráulicas – estación Nueva York .....	271
Tabla 4-27. Parámetros hidráulicos del río Marañón - Estación Borja .....	272
Tabla 4-28. Parámetros hidráulicos del río Marañón - Estación Borja .....	275
Tabla 4-29. Secciones hidráulicas – estación San Regis .....	279
Tabla 4-30. Parámetros hidráulicos del río Marañón - Estación San Regis .....	280
Tabla 4-31. Parámetros hidráulicos del río Marañón - Estación San Regis .....	284
Tabla 4-32 Secciones hidráulicas – estación Nauta .....	288
Tabla 4-33. Parámetros hidráulicos del río Marañón - Estación Nauta .....	289
Tabla 4-34. Parámetros hidráulicos del río Marañón - Estación Nauta .....	293



## RESUMEN

El presente Estudio, busca entender la dinámica fluvial del río Marañón y sus principales tributarios, sobre la base de la evaluación de los aforos generados durante la campaña 2003 / 2015, en las estaciones de Borja, Chazuta, Picota, Nueva York y San Regis, sumando un total de 666 entre ellas. Las campañas fueron desarrolladas en los períodos de vaciante y creciente del río, permitiendo de esta manera obtener todos los parámetros hidráulicos que caracterizan la hidráulica fluvial.

Los resultados muestran resultados, se han obtenido relaciones generadas entre los parámetros hidráulicos, permitiendo conocer los niveles de tendencias que registran y su incidencias entre ellas, a través de expresiones algebraicas de primer, segundo y cuarto orden; de esta manera se tiene caracterizado los parámetros hidráulicos de cada una de las secciones de aforo. En la evaluación de las distribuciones de velocidades, a nivel vertical y horizontal, se determinó los ajustes de tipo polinómica que nos ayudan a entender las variaciones de la velocidad desde el lecho del río hacia la superficie. Las mayores velocidades se registran por debajo de la superficie en un 20% de la profundidad total del río. Además, se evaluó las secciones transversales de cada una de los aforos, con el fin de conocer los cambios originados por acciones naturales del ecosistema sino también por mecanismos antrópicos. No todos los aforos fueron realizados en la misma sección hidráulica, lo que originaba cambios que inducía la ocurrencia de erosión o colmatación en el río. Sin embargo, la dinámica fluvial del río, por acciones de mecanismos naturales, presenta niveles de erosión y colmatación, que con el transcurrir del ciclo hidrológico va logrando encontrar su equilibrio como lo establece Rosgen (1994), la cual se ve alertada por mecanismos antrópico.

El análisis de la dinámica fluvial del río Marañón, permitió evidenciar la necesidad de evaluar los procesos de erosión y sedimentación, mediante mediciones que complementarían a las campañas de aforo que se vienen desarrollando.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los cambios hidrogeomorfológicos que experimenta la cuenca Amazónica, nos ha llevado a plantear el presente Estudio conducente a conocer la variabilidad, comportamiento y los parámetros hidráulicos de cada una de las secciones de aforo identificadas en la cuenca del río Marañón.

El SENAMHI, en su tarea de generar conocimiento sobre la hidrología del Perú, impulso con el apoyo del IRD (Institución de Investigación para el Desarrollo) de Francia, campañas de aforo en los principales ríos Amazónico durante el período de 2003 / 2015, para lo cual se utilizó tecnología de punta como es el ADCP (Perfilador de Corriente Acústico Doppler), el cual permitió obtener valores de: Área, Perímetros, Velocidad, Caudal y Batimetría de secciones de aforo de las estaciones Borja, Santiago, Chazuta, Picota, Nueva York, San Regis y Nauta, ubicadas en la cuenca del río Marañón, específicamente en la parte media y baja.

Es así, que el número total de aforos realizados durante los 13 años, acumularon un total de 666; siendo la estación de Borja, San Regis y Nauta, las que cuentan con la mayor cantidad de aforos. Esta base de datos nos permitirán responder ¿Cuáles son los cambios originados no solo desde el punto de vista natural sino también por las acciones antrópicas en el ecosistema Amazónico?, principalmente en el análisis de la variabilidad de la sección hidráulica fluvial en puntos de control hidrométrico de la cuenca del Marañón. Sobre la base de esta información, se generó una base de datos, con la cual se desarrollaron todos los análisis de los parámetros hidráulicos, con propuestas de funciones algebraicas que nos permitirán responder ¿Cuáles son los cambios originados no solo desde el punto de vista natural sino también por las acciones antrópicas en el ecosistema Amazónico?

En relación a la distribución de la velocidad vertical y horizontal del agua, para el primero se determinó que se ajustan a una expresión algebraica de tipo polinómica, representando de esta manera la variabilidad desde el lecho del río hasta la superficie del agua, determinándose que la velocidad máxima se presenta a una distancia promedio de 20% desde la superficie del agua. Para el segundo, se ha logrado representar su comportamiento al tipo de sección; encontrándose que en la mayoría de los casos dicho perfil se ajusta hacia una de las márgenes del río, condicionando la caja hidráulica y los flujos de agua, a procesos de erosión o colmatación.

Se consideró importante realizar el análisis de las secciones transversales de aforo, encontrándose que durante el proceso de aforo, se utilizaron más de una sección hidráulica, lo que en un primer momento originó confusión por las discrepancias que se presentaban, induciendo al error de fuerte procesos de erosión o colmatación; sin embargo, identificado el problema, consideramos que en las secciones comunes existe ligeras discrepancias debido principalmente a dos factores: el natural que es ocasionado por la acción de la erosión y colmatación en el río, pero el otro es por la no linealidad en el transepto de la trayectoria del bote desde una margen hacia la otra, originado que las secciones presente también ciertas discrepancias al realizar las comparaciones.

## 1.1 Justificación

La cuenca Amazónica, tiene un ciclo hidrológico extremadamente interesante que controla el clima local y regional, capaz de mantener toda la biodiversidad; así como controlar el clima a nivel mundial. En este proceso, juega un papel preponderante la topografía de la cuenca, que permite que el Amazonas actúe como un sumidero de vapor de agua para la humedad proveniente del océano Atlántico, en ello la importancia de estudiar a la cuenca del río Marañón uno de los principales afluentes del río Amazonas.

La importancia de conocer las implicancias de la variabilidad climática, tanto a nivel espacial como temporal, para la cuenca del río Marañón, nos dará una idea clara de cómo hemos venido alterando el panorama hidro climático en esta cuenca, como resultados de las interacciones de las actividades antrópicas con el ecosistema natural.

Es así, que hoy en día hablamos del Cambio Climático y buscamos entender cuáles es el impacto o la influencia en las actividades cotidianas del ser humano, o buscamos entender que sucederá en el futuro y damos pasos a la generación de escenarios climáticos que dan una visión probable de lo que sucederá, si mantenemos el proceso de la desaceleración en la sostenibilidad de los ecosistemas naturales. La cuenca Amazónicas, tiene un importante papel en nuestro sistema climático y en el ciclo del agua, ya que almacena grandes cantidades de carbono, así como una gran cantidad del agua dulce del mundo. La red fluvial de 100.000 kilómetros que conforman la cuenca amazónica depende de la existencia de la selva, porque el 50 % de las precipitaciones en esta región se producen a causa de este sistema forestal. Un bosque con menor humedad es más vulnerable a los incendios.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

- Determinar las características de la hidráulica fluvial del río Marañón, en los principales puntos de control hidrométrico.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar la variabilidad de las secciones transversales, a nivel espacial y temporal en el río Marañón.
- Determinar la producción de sedimentos en el río Marañón

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Estudios de referencia

(Guyot Loup, Jean; Bazan, Hector; Fraizy, Pascal; Ordoñez, Juan Julio; Armijos, Elisa y Laraque, Alain, 2007) realizó el Estudio referente a los rendimientos de sedimentos suspendidos en la cuenca amazónica del Perú: primera estimación, determinó que el 76% del territorio peruano, está conformado por la cuenca del río Amazonas, el cual presenta como afluentes andinos principales, de norte a sur:

- El río Napo, con una superficie total de 100520 km<sup>2</sup> y un caudal promedio multianual de 6300 m<sup>3</sup>/s,
- El río Marañón, con una superficie total de 360550 km<sup>2</sup> y un caudal promedio multianual de 14700 m<sup>3</sup>/s,
- El río Ucayali, con una superficie total de 360490 km<sup>2</sup> y un caudal promedio multianual de 13800 m<sup>3</sup>/s.

La cantidad de sedimentos suspendidos exportados desde Perú hacia Brasil es alrededor de 450×10<sup>6</sup> toneladas/año, para el período 2004/2006, cuya distribución por tributarios es la siguiente:

- 12% es la contribución del río Napo,
- 40% es la contribución del río Marañón
- 48% es la contribución del río Ucayali

La producción de sedimento se ve incrementada especialmente por los ríos Napo y Marañón (**Figura 2-1**), a medida que sus aguas van trasladándose desde las zonas alto andinas a la desembocadura; lo que llevo a concluir que la aparición de procesos de erosión en las tierras bajas, como se observa en Ecuador, en lugar de la ocurrencia de sedimentación observada a lo largo del río Madeira en Bolivia.

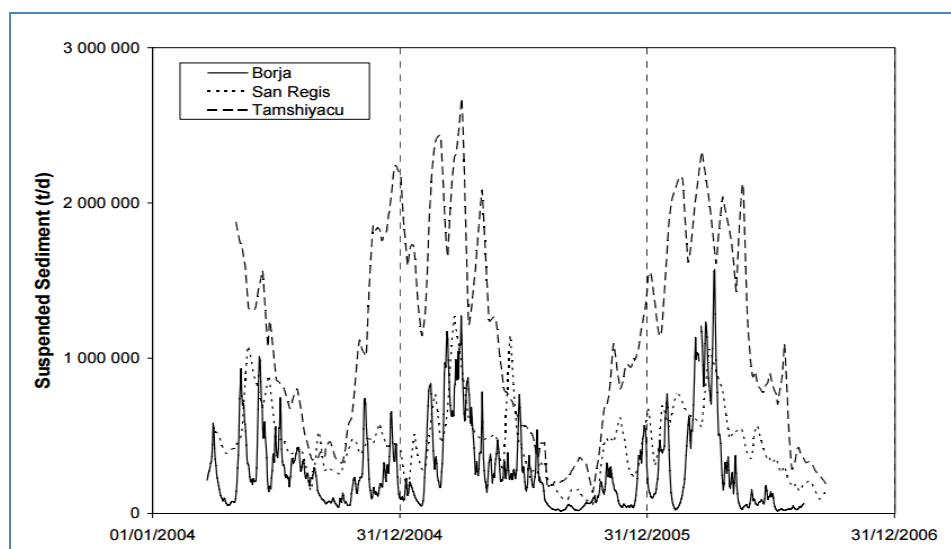


Figura 2-1. Comportamiento del sedimento en suspensión para el río Marañón (estaciones de Borja, San Regis y Tamshiyacu). Período 2004 / 2006

Fuente: (Guyot Loup, Jean; Bazán, Héctor; Fraizy, Pascal; Ordoñez, Juan Julio; Armijos, Elisa y Laraque, Alain, 2007)

La dinámica sedimentológica en la cuenca del río Amazonas, nos permite inferir sobre los cambios que se han venido originando en la superficie de la cuenca, por acción de la geodinámica interna, actividades antrópicas, la variabilidad climática y el cambio climático.

Para Armijos et al (2013), en su investigación dinámica de sedimentos suspendidos en el río Amazonas del Perú; determina que la cuenca amazónica del Perú presenta características fisiográficas y climáticas contrastantes entre la zona alto andina y llanuras amazónica, por lo que existen 8 estaciones de medición ubicadas a lo largo de los principales ríos alto andino (Marañón, Huallaga, Ucayali) y en la planicie (Marañón, Tigre, Napo, Ucayali y Amazonas). La cuenca amazónica del Perú tiene un rendimiento sedimentario de  $541 \times 10^6$  toneladas/año, con un 70% de sedimento que proviene de la cuenca meridional (Armijos, Elisa; Crave, Alai; Vauchel, Philippe; Pascal, Fraizy; Santini, William; Moquet, Jean-Sebastien; Arevalo, Nore, Carranza, Jorge and Guyot, Loup, Jean, 2013).

Las cordillera de los andes, dentro de su proceso de geodinámica interna, ha pasado por varios procesos para su formación entre las cuales tenemos: el acoplamiento complejo entre la deformación de la litosfera, los mecanismos ligados a procesos de subducción y de superficie: meteorización, erosión y clima. Actualmente, la erosión de la cordillera andina oriental y de las colinas subandinas abastece con el 99% de la carga sedimentaria que pasa por la cuenca amazónica.

Los rangos de denudación en la cuenca alta del río Ucayali (**Figura 2-2**) son rápidas, estacionales y precipitaciones extremas; procesos que debidamente conjugados generan erosión en la cuenca. Alrededor del 40% de los sedimentos son retenidos en la parte baja de la cuenca (Santini William et al 2015).

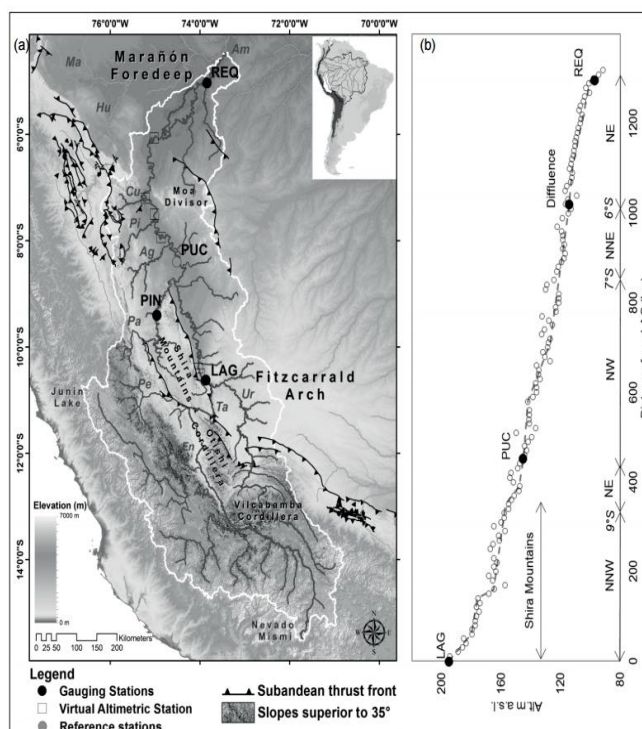


Figura 2-2 Cuenca del río Ucayali  
Fuente: Santini, William et al, 2015)



Para (Media, Lucio, Allcca y Ochoa, Zubiarte, Magdie, 2010), en su trabajo desarrollado sobre el “Estudio de Riesgos Geológicos de la Región Loreto” muestra el análisis de las variaciones morfológicas del río Amazonas (erosión fluvial) y su grado de susceptibilidad a inundaciones. Es conocido que las márgenes del río Amazonas, experimentan constantes derrumbes y deslizamientos originando con el ello el incremento en el transporte de sedimentos; los cuales se producen durante la etapa de transición (Junio – Julio) y las inundaciones durante la etapa de creciente (Marzo – Mayo).

Uno de los primeros estudios desarrollados sobre esta temática, fue la de Cabrera (1943), donde compara al río Amazonas en dos tiempos 1798 y 1943 (**Figura 2-3**).

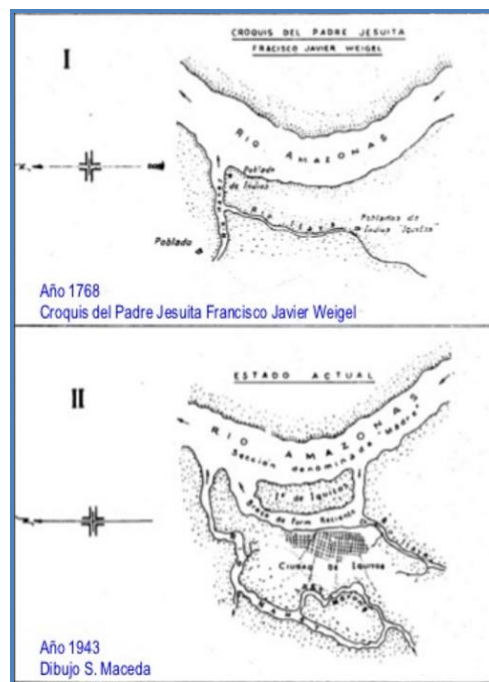


Figura 2-3 Esquema del río Amazonas  
Fuente: (Cabrera, 1943)

- 1768: Aquí se muestra que el río Itaya era afluente del río Nanay
- 1943: Aquí se muestra que el río Itaya, es afluente del río Amazonas.

Entre 1978 y 1985, la migración del cauce principal del río Amazonas ha sido menos agresiva pero en el transcurso de 1985 al 2009, se han percibidos cambios significativos del cauce, especialmente durante los eventos El Niño 1982/83 y 1997/98.

En la **Figura 2-4**, apreciamos como ha sido el desplazamiento del río Amazonas hacia el río Itaya, (Este a Oeste) estimándose que la velocidad de propagación es de 70 m/año; de mantenerse estas condiciones hidráulicas y las tendencia registradas durante el período 1948/2006, el río Amazonas llegaría a unirse con el río Itaya en 60 años, como es lo que ha ocurrido actualmente.

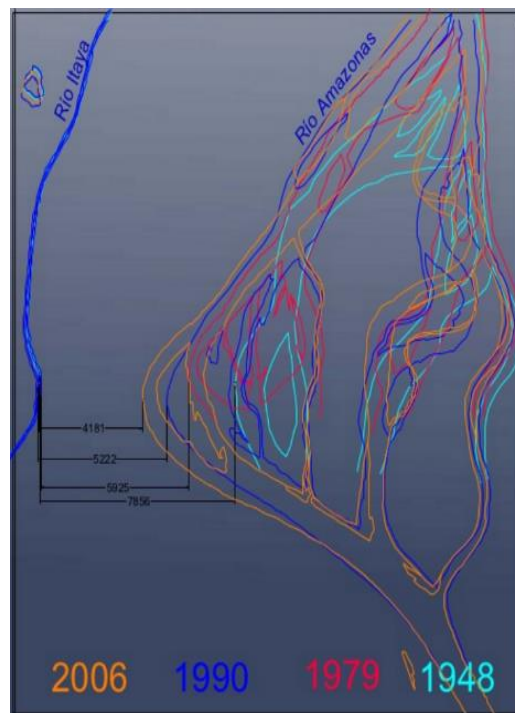


Figura 2-4 Avance del río Amazonas al río Itaya  
Fuente: (DHN, 2006)

En su Estudio de Migraciones en el río Amazonas en las últimas décadas, sector confluencia de los ríos Ucayali y Marañón – Isla de Iquitos (Tuukki, Eeva; Jokinen, Paivi and Kalliola, Risto, 1996), se analizaron los cambios en el cauce del río Amazonas desde 1956, a través de percepción remota y de los niveles de agua del río durante 60 años de información; lo que ha permitido determinar un incremento del nivel del agua y el aumento en los procesos de erosión y sedimentación (**Figura 2-5**).

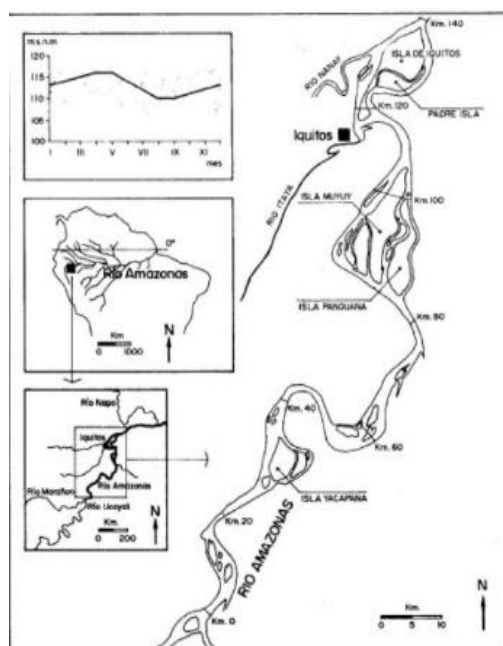


Figura 2-5 Zona de estudio río Amazonas  
Fuente: Tuukki, Eeva et al, 1996)

La dinámica fluvial tiene un efecto extenso sobre el medio ambiente abiótico y biótico en la Amazonía peruana (Kalliola et al., 1987; Kalliola et al., 1992a y 1992b). Durante las inundaciones, grandes cantidades de agua penetran en las planicies de inundación y, los ríos de agua blanca, como el Amazonas, traen consigo una carga considerable de sedimentos fértiles, con origen en los Andes (Sioli, 1984; Furch y Klinge, 1989; Rodríguez et al., 1992; Kalliola et al., 1993; Linna 1993); además de eso, la mayor parte de los sedimentos superficiales en áreas no inundables es también de origen fluvial (Räsänen et al., 1987).

En la investigación “The integration of field measurements and satellite observations to determine river solid loads in poorly monitored basins”, plantea y desarrolla procesos metodológicos para la determinación de la descarga de sedimentos de los ríos en base al uso de imágenes satélites, sobre la base de los análisis desarrollado en las estaciones hidrológicas que el SENAMHI opera en la cuenca amazónica peruana (Espinoza, Villar, Raúl; Martinez, Jean-Michel; Guyot, Jean-Loup; Fraizy, Pascal; Armijos, Elisa; Crave, Alain; Bazán, Hector; Vauchel, Philippe and Lavado, Waldo, 2013). Esta red ha sido completado por el programa Hidrogeodinámica de la cuenca Amazónica (HYBAM), que tiene una red de monitoreo de la calidad del agua distribuida en cinco ubicaciones y permite la evaluación de la descarga del río líquida y de sedimentos suspendidos en superficie (SSS) (Figura 2-6).

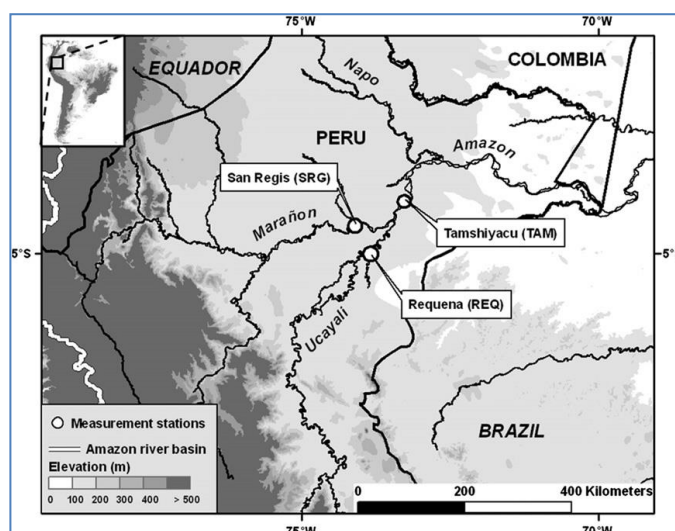


Figura 2-6 Red de observación hidrológica  
Fuente: Espinoza, et al, 2012

En “Andean Influences on the Biogeochemistry and Ecology of the Amazon River” (McClain, Michael, E. and Naiman, Robert J., 2008) manifiesta que las montañas constituyen una fracción del área de la cuenca; sin embargo, suministran la mayor parte de los materiales transportados en suspensión y de fondo, ejerciendo un control regulador sobre las características ecológicas de los ríos y las llanuras de inundación. A pesar que los Andes constituyen sólo el 13% de la cuenca Amazónica, es la fuente principal de sedimentos y nutrientes minerales al cauce principal del río (Figura 2-7).

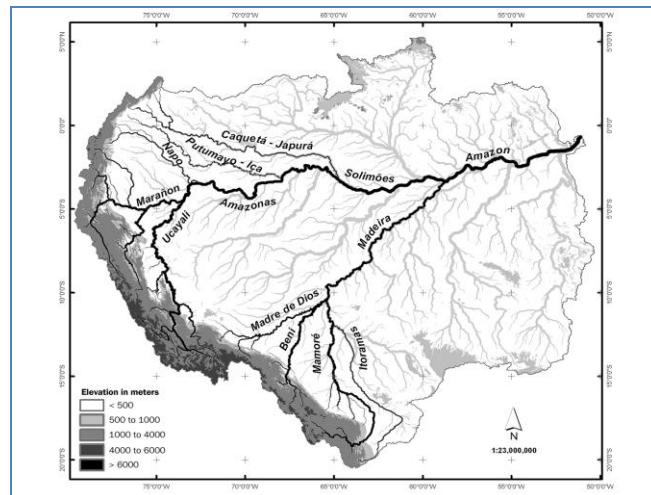


Figura 2-7. Cuenca del río Amazonas  
Fuente: McClain, Michael et. al, 2008)

Sabemos que el río Ucayali y Marañón, nacen en las zonas alto andinas del territorio peruano, dando origen el río Amazonas. (Ettmer, Bernd and Alvarado, Ancieta, Cesar, Adolfo, 2010), desarrollan un estudio para el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, sobre la navegabilidad del río Ucayali, para lo cual se generó información especializada de hidrología y sedimentos (**Figura 2-8**), así como levantamiento topográfico del cauce del río. Los datos han proporcionado información sobre el patrón del flujo natural y de un análisis de los cálculos del transporte de sedimentos para el río Ucayali.



Figura 2-8. Cuenca del río Amazonas  
Fuente: Ettmer et. al., 2010

Los ríos Amazónicos se caracterizan por presentar tener mayores tasas de migración lateral, desviando su condición de equilibrio dinámico mediante la producción de trenes de meandros que se encuentran bajo procesos erosivos y de deposición a la escala de la llanura de inundación (**Figura 2-9**). El transporte fluvial requiere una comprensión profunda de estos patrones morfo dinámicos y su

evolución a nivel de escalas de tiempo geológicas. (Abad, D. Jorge; Vizcarra, Jorge; Paredes, Jorge; Montoro, Hugo; Frias, Christian and Holguin, Carlos, 2013).

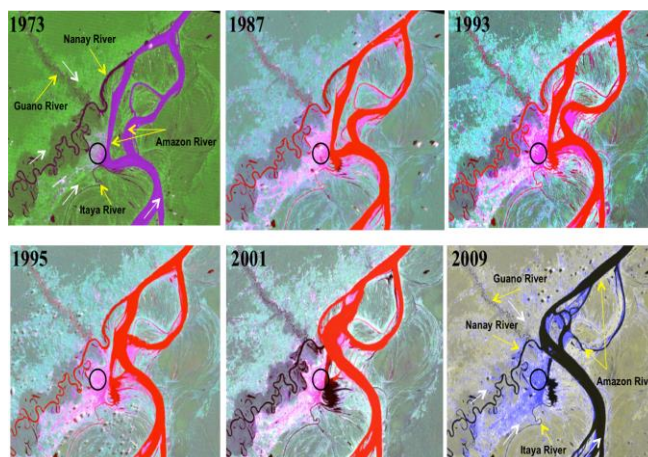


Figura 2-9 Evolución histórica del río Amazonas  
Fuente: Abad et al, 2013

## 2.2 La cuenca Amazónica

La cuenca Amazónica, es sin duda el lugar más rico en especies del ecosistema terrestre en el mundo, pero el origen y las causas evolutivas de esta diversidad es una cuestión de debate. Se revisa la evidencia geológica y filogenética de la Amazonía y compararla con los registros de levantamiento de los Andes. Este levantamiento y su efecto sobre el clima regional han cambiado el paisaje Amazónico mediante la reconfiguración de los patrones de drenaje y la creación de una gran afluencia de sedimentos en la cuenca.

La importancia de conocer las implicancias de la variabilidad climática, tanto a nivel espacial como temporal, para la cuenca del río Marañón, nos dará una idea clara de cómo hemos venido alterando el panorama hidro climático en estas cuencas, como resultados de las interacciones de las actividades antrópicas con el ecosistema natural.

La cuenca Amazónica, tiene un ciclo hidrológico extremadamente interesante que controla el clima local y regional, capaz de mantener toda la biodiversidad; así como controlar el clima a nivel mundial. En este proceso, juega un papel preponderante la topografía de la cuenca, que permite que el Amazonas actúe como un sumidero de vapor de agua para la humedad proveniente del océano Atlántico.

La preservación del ciclo hidrológico en la cuenca Amazónica, es importante para la biodiversidad de la zona, el clima local y el continuo uso de sus recursos hídricos. Lamentablemente, se ha visto amenazada por las actividades humanas inducidas, la más importante de las cuales son la deforestación y el cambio climático.

La deforestación no sólo consiste en la tala de árboles, sino también la quema de la biomasa correspondiente. Dependiendo de su distribución espacial, la deforestación puede provocar daños irreparables en el ciclo del agua amazónica, que pueden incluir los impactos climáticos locales, así



como los impactos climáticos en zonas alejadas de la Amazonía. Cuando se eliminan los bosques, la retención de la humedad del suelo disminuye lo que facilita la evaporación del agua del suelo, previamente retenida, y cambia el balance de agua. Este cambio trae consigo un aumento de la temperatura, y albedo.

Extracción de bosques resulta también en una disminución de la humedad en la atmósfera, así como dejando atrás suelo desnudo que será más susceptible a la erosión. En base a ellos se tejen mucha hipótesis, las cuales de alguna manera se han logrado esclarecer, tales como la relación entre la precipitación y los bosques tropicales, la reconversión del bosque tropical, el cambio en el uso del suelo y otros más.

En la búsqueda de entender las causas y efectos, dentro y fuera del ecosistema Amazónico y el clima, tenemos como uno de los primeros resultados el Experimento de Gran Escala de la Biósfera-Atmósfera en la Amazonía (LBA) para los científicos y estudiosos de la ciencia del sistema Tierra y el cambio ambiental global. LBA, liderado por Brasil, se pregunta cómo funciona actualmente la Amazonía en el clima global y los sistemas biogeoquímicos y cómo el funcionamiento de la Amazonía va a responder a las presiones combinadas del clima y el cambio de uso de la tierra, tales como (Keller, et al, 2009):

- La temporada húmeda y seca las concentraciones de aerosoles de temporada y sus efectos en la radiación difusa y la fotosíntesis,
  - El aumento de la concentración de gases de efecto invernadero, la deforestación, la quema de biomasa generalizada y los cambios en el ciclo hidrológico amazónico.
  - Los efectos de la sequía y la sequía simulada a través de experimentos de precipitación de exclusión,
  - El flujo neto de carbono entre la atmósfera de la Amazonía y las llanuras de inundación como un importante regulador de la cuenca, incluyendo el balance de carbono que actúa como una fuente importante de metano a la tropósfera,
  - El impacto de la rentabilidad probable aumento de la ganadería.
- El libro servirá una amplia comunidad de científicos y responsables políticos interesados en el cambio global y el medio ambiente con alta calidad síntesis científica accesible a los no especialistas en una amplia comunidad de científicos sociales, ecologistas, químicos atmosféricos, climatólogos, e hidrólogos.

Para Fearnside Philip (2008), considera que el efecto es mucho más intenso en las simulaciones climáticas globales, para los modelos que incluyen la conexión entre el calentamiento de las aguas en el océano Pacífico y la ocurrencia del Fenómeno El Niño. Los impactos son peores en los modelos que incluyen reacciones biosféricas, con la muerte de los bosques y el calentamiento de la tierra que conduce a las emisiones de carbono que calientan aún más el clima y la muerte de más bosques. La deforestación es otro factor que refuerza esta misma tendencia, originando que se reduzca el reciclado del agua en la región haciendo el clima más seco y más caliente.

El Niño / Oscilación del Sur (ENOS) parece ser un motor de gran parte de la variabilidad climática en América Latina (IPCC, 2007). Por ejemplo, El Niño se asocia a condiciones de sequía en el noreste de

Brasil, el norte de la Amazonía, el altiplano peruano-boliviano, y la costa del Pacífico de América Central.

Las sequías más severas en México en las últimas décadas se han producido durante los años de El Niño, mientras que el sur de Brasil y Perú han mostrado noroeste condiciones anormalmente húmedas en estas horas (Horel y Cornejo Garrido, 1986). La Niña está asociada con fuertes precipitaciones e inundaciones en Colombia y la sequía en el sur de Brasil (Rao et al., 1986).

Para Spracklen D. et al (2012), la deforestación en la Amazonía, tiene un impacto directo en las precipitaciones. Según el estudio "Observation of Increased tropical rainfall preceded by air passage over forest", con las actuales tendencias de la deforestación, la precipitación en la cuenca Amazónica hasta el 2050, se reducirían en un 12% durante la época de lluvia y en un 21% en la época seca. Los autores constatan que estos procesos operan en una escala temporal de varios días, sobre distancias de 100 – 1000 km, de tal forma que un cambio de uso de suelo de gran escala puede cambiar las precipitaciones a una distancia de cientos de miles de kilómetros de la región donde cambia la vegetación.

WWF, 2012, muestra algunas cifras interesante de la Amazonía que nos hace ver la enorme importancia que tiene este ecosistema tropical como fuente generadora de biodiversidad y recurso hídrico.

- El bosque tropical amazónico abarca un área de 6.7 millones de km<sup>2</sup> en 8 países: Brasil, Bolivia, Perú, Colombia, Ecuador, Guyana, Surinam, Venezuela, además de la Guayana Francesa.
- Alrededor de la mitad de los bosques tropicales que aún existen en el mundo se encuentran en la Amazonía, junto con al menos el 10% de especies conocidas.
- La cuenca del Amazonas representa entre el 15% y 16% de la descarga fluvial total del mundo.
- Alrededor de 30 millones de personas viven en la Amazonía, incluyendo más de 300 grupos indígenas.

Sin embargo, en los últimos 50 años la Amazonía ha perdido por lo menos 17% de su cobertura vegetal, siendo su conectividad afectada cada vez más, lo que se agravaría aún más, con el calentamiento global, que podría llevar a una tendencia de “punto crítico” donde el ecosistema tropical colapse.

Las sequías ocurrida en el 2005 y 2010 (**Figura 2-10** Lewis et al, 2011), muestran la pérdida de carbono (Phillips et al, 2009; Lewis et al, 2011), convirtiendo al bosque de un sumidero a una fuente temporal de carbono. Algunos de los efectos negativos de la sequía de 2005, persistió durante varios años después del evento. Aunque las causas de estos hechos no se comprenden bien, demuestran que la sequía sustancial es posible, y que el bosque es sensible a los déficits de lluvia.

Otros trabajos recientes han confirmado que las especies forestales mundiales tienden a tener una tolerancia relativamente estrecho de la sequía (Choat et al., 2012). Una preocupación que existe de que las sequías podrían resultar aún más comunes en el futuro, a través del cambio climático.

Si bien la cuenca del Amazonas es "cada vez más cálido", no es "cada vez más húmeda."

La variabilidad de las precipitaciones en la cuenca del Amazonas es controlado por tres variables clave: Temperatura Superficial del Mar (Atlántico Norte Tropical) TSM, el fenómeno El Niño - Oscilación del Sur (ENOS) y el Modo de Multidecadal Tropical (TMM).

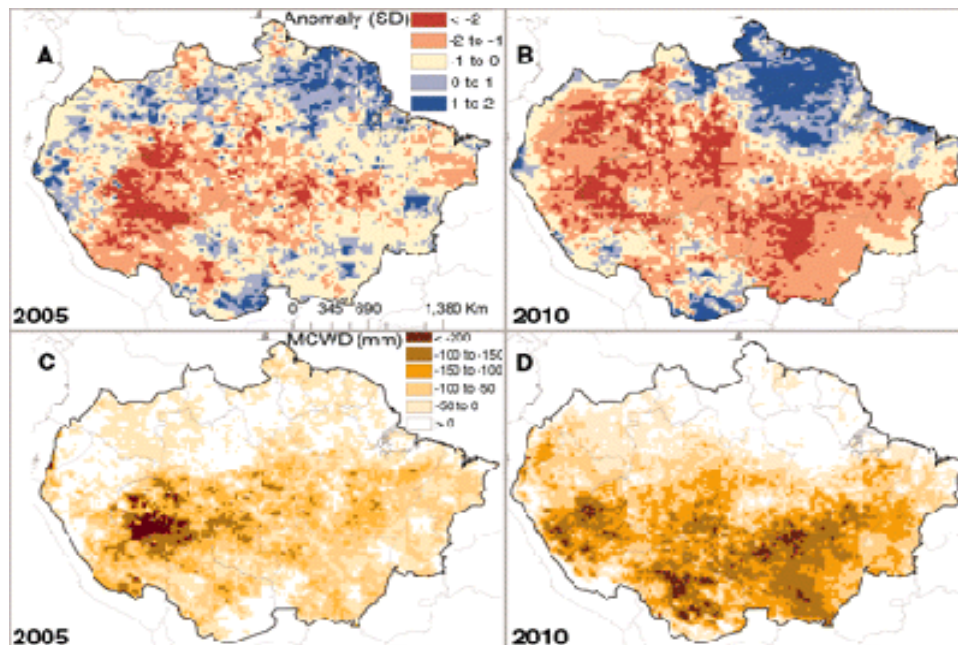


Figura 2-10 Déficit de precipitaciones durante el 2005 y 2010 en la cuenca Amazónica

Fuente: Lewis et al, 2011

- Temperatura Superficial del Mar del Atlántico Norte Tropical – TSM  
La estacionalidad de las lluvias en la cuenca Amazónica, está controlada por el desplazamiento de norte – sur de la Zona de Convergencias Inter Tropical (ZCIT), o la permanente Baja de Presión que traslada la Célula de Hadley. Este desplazamiento hace que la Amazonía reciba aportes de precipitaciones durante la primavera austral, mientras que el desplazamiento hacia el norte, hace que se produzca un aumento en orden descendente de aire sobre la región ahuyentando la precipitación; de tal manera que se debilitan los vientos alisios, que son los generadores de la humedad en el sur de la Amazonía durante el verano.
- ENSO  
En las fases de El Niño, el aumento de la fuerza del aire que se eleva sobre el agua caliente que se acumula en la costa oeste de América del Sur lleva a un aumento en el aire descendente en el lado este de los Andes y superior a la media de la presión atmosférica en la Amazonía oriental reduciendo la precipitación. El ciclo ENOS, explica entre el 22% - 24% de la variabilidad interanual de las precipitaciones en los trópicos.
- TMM  
Es el modo dominante de la variabilidad en el trópico mundial, lo que representa entre el 50% - 60% de la variabilidad observada en las precipitaciones tropicales. Durante las fases positivas, durante los años 1980 y 1990, la convección en la cuenca Amazónica mejoro, registrándose una precipitación superior a su valor promedio. Durante las fases negativas, se

observó que durante los años 1950 y 1960, la circulación mundial favorece más la formación de aire descendente sobre la cuenca, y la disminución de la convección y la precipitación.

Foley et al (2002), nos indica que el ENOS, es uno de los principales impulsores de la variabilidad ambiental en los trópicos. En el estudio no indica que en promedio El Niño es más seco y más cálido de lo normal en la Amazonía, mientras que La Niña, es más húmedo y más fresco. Si bien los cambios de temperatura son en su mayoría uniforme a través de todo el año, la precipitación es más fuerte durante la temporada de lluvia (enero a marzo) concentrándose en la parte norte y sureste de la cuenca.

Foley et al (2002), nos indica que es importante recordar que el ENSO no es el único modo de variabilidad del clima en los trópicos. Por ejemplo, Botta et al. [2002] informó que ENOS sólo explica el 20% de la varianza interanual en la precipitación y la temperatura. De hecho, Botta et al encontraron que el modo dominante de la variabilidad del clima en la Amazonia tiene un plazo de promedio de 24-28 años, y explica cerca del 35% de la variación interanual de las precipitaciones, y el 55% de la variabilidad de la temperatura.

(Killeen & Luis A., 2008), Si bien el cambio en los regímenes de precipitación en gran parte se expresará en el gradiente latitudinal y selva baja, los aumentos en la temperatura afectará el gradiente altitudinal que define los hábitats montañosos. En aquellas partes de los Andes, donde las cimas de las montañas están por encima de la línea de hielo permanente, hay un espacio potencial para el desplazamiento hacia arriba de las especies como una forma de adaptación. Un corredor ideal sería incorporar una secuencia ininterrumpida de hábitat natural se extiende desde los bosques de tierras bajas de los campos de hielo de altas cordilleras. Esto puede parecer un gradiente de elevación simple, pero tiene varios cuellos de botella a la migración de plantas y animales. El primero son las zonas de asentamientos humanos en el pie de monte andino, particularmente en el Putumayo de Colombia, Ecuador amazónico, la selva central del Perú y la región del Chapare en Bolivia, así como zonas de colonización incipiente en Loreto y Madre de Dios provincias en el Perú y Provincia Iturralde, Bolivia. Del mismo modo, muchos de los valles húmedos de los rangos anteriores se han ocupado durante largo tiempo por las poblaciones humanas, porque los cultivos tropicales prosperan y los problemas de salud humana de las enfermedades tropicales son mínimas en estas elevaciones.

El impacto del cambio climático en el Amazonas es incierto. Las acciones necesarias para manejar los riesgos asociados con la incertidumbre que trae beneficios adicionales para la conservación sin importar la dirección, magnitud o la excentricidad regional de esos cambios. La mayor parte de las acciones que deben tomarse lo más pronto posible, porque la globalización y la integración regional de los planes de desarrollo es lograr un cambio acelerado de la Amazonía. Las especies pueden adaptarse al cambio climático-que lo han hecho en el pasado y puede hacerlo en el futuro, pero es necesario contar con las condiciones y el tiempo que les permiten adaptarse.

Sistemas de áreas protegidas y corredores de conservación puede ayudar a mitigar los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad amazónica. Proponemos criterios de conservación de diseño que le ayudarán a sobrevivir las especies in situ o ajustar las distribuciones varía en respuesta al

aumento de las sequías. La primera prioridad es proteger la Amazonía occidental, identificado como el "Amazonas Core", debido al régimen de lluvias estables y macro-ecológicos fenómenos que han llevado a la evolución de los niveles altos de biodiversidad. Ecotonos pueden amortiguar el impacto del cambio climático porque las poblaciones son genéticamente adaptadas a las condiciones climáticas extremas, especialmente la estacionalidad, ya que los niveles altos de diversidad de hábitat están asociados con la variabilidad edáfica. Las futuras zonas de tensión climática debe ser objeto de reconocimiento para las características geomorfológicas que captan la lluvia ni a conservar la humedad del suelo para identificar refugios potenciales para las especies de los bosques húmedos.

Corredores de conservación debe abarcar gradientes ambientales para asegurar que las especies pueden cambiar las distribuciones de rango. Corredores ribereños proporcionan protección a los ecosistemas terrestres y acuáticos. Varios corredores altitudinales potenciales existen en los Andes, pero los cuellos de botella naturales y antropogénicos limitará la capacidad de las especies para cambiar su área de distribución y adaptarse al cambio climático. Las inversiones previstas de infraestructura son una grave amenaza para el potencial de consolidar corredores en el corto plazo y mediano plazo (Killeen & Luis A., 2008).

En el caso directo de la cuenca del río Marañón, los problemas ambientales (**Figura 2-11**) subsisten con frecuencia asociados a la problemática de explotación de los recursos naturales, y uno de ellos ha cobrado notoriedad durante Marzo de 2013, cuando el Ministerio del Ambiente declara en emergencia por 90 días a los distritos de Andoas y Pastaza, en la cuenca del río Pastaza, perteneciente a la provincia Datem del Marañón, región de Loreto, donde se ubica el Lote 1AB que opera desde el 2001 la petrolera de capitales Argentinos Pluspetrol, por reincidir en el derrame de petróleo, que según estadística lleva un total de 78 derrames durante el período de cuatro años (2006 – 2010) (Pulso, 2013).



Figura 2-11. Inundación en la quebrada de Yanayacu, afluente del río Parapapura – Alto Amazonas, Marzo 2013

Fuente: [www.diariovoces.com.pe](http://www.diariovoces.com.pe)

El crecimiento económico, social, energético y productivo del Perú, está sustentado por uso insostenible de los recursos naturales existente en la cuenca amazónica, lo que viene generando fuertes impactos ambientales (deforestación, contaminación...) y sociales; los cuales se vienen presentando en gran parte del Perú.



En su investigación titulada “Diagnóstico de Uso de Recursos Naturales en la Comunidad Campesina de Huachón, Departamento de Pasco, Perú”, (Jonkersa, 2012) nos indica que si hay un mayor conocimiento sobre las múltiples facetas de la influencia andina en los procesos ecológicos, hidrológicos y biogeoquímicos de la cuenca del río Amazonas, considerado el más caudaloso del planeta (Reátegui 1997).

Dichos procesos están ligados a la magnitud y variabilidad del volumen de agua y de los materiales proporcionados por los Andes. Alfred Russel Wallace (1853) y Henry Bates (1863) fueron pioneros en relacionar características de las zonas más bajas con la naturaleza de los suelos, las precipitaciones y la vegetación en la cabecera de la cuenca amazónica. Altas pendientes y litologías jóvenes hacen de los Andes una importante fuente de sedimentos, materia orgánica, y nutrientes para las zonas más bajas, aun constituyendo sólo el 13% de la cuenca del río Amazonas.

En tal escenario, es fácil entender que cualquiera de las actividades humanas, siempre en expansión, que se generen en la cabecera, hayan alterado y sigan amenazando esos equilibrios, con unas consecuencias que puedan llegar a notarse a miles de kilómetros, en la parte más baja de la cuenca amazónica (McClain, M. y Naiman, R. 2008).

El MTC (2004), en su estudio de la navegabilidad del río Ucayali en el tramo comprendido entre Pucallpa y la confluencia con el río Marañón, delimita que las características de un sistema de corrientes fluviales está condicionada por la estacionalidad climática de la región, la que origina la ocurrencia de dos períodos:

- Vaciante
  - Reducción de la profundidad del río
  - Aumento de la resistencia de la rugosidad
  - Identificación de las palizadas fijas
  - Localización de orillas fangosas
  - Incisiones laterales de la caja del río
- Creciente
  - Disminución de la pendiente hidráulica
  - Variación de la pendiente hidráulica por el incremento del caudal y el cambio de la velocidad
  - Orillas inestables y erosionadas por la corriente
  - Palizadas flotantes
  - Corrientes turbulentas y cruzadas
  - Magnificación de zonas vorticosas
  - Transporte de sedimentos y la formación de elementos de configuración de fondo
  - Oleaje irregular

La geomorfología deriva de tres palabras griegas: *gew* (la Tierra), *morph* (forma), y *logo* (discurso). La geomorfología es, pues, «un discurso sobre las formas de la Tierra». Es el estudio de los rasgos físicos de la superficie terrestre, sus formas de relieve - ríos, colinas, llanuras, playas, dunas de arena y miles de otras (McGee 1888, 547) (Huggett, Richard, 2007).



La Universidad del Cauca (UC, 2003), indica que los procesos de formación de los cauces de los ríos es parte de un ciclo geomorfológico accionado permanentemente por las características del entorno (geología, geotecnia, suelos, hidráulica, hidrología, capacidad de transporte, antrópico) que a su vez condicionan la dinámica de la corriente haciendo que los cauces tomen formas que son la respuesta a leyes físicas que gobiernan la mecánica del transporte de agua y sedimentos. El río como un sistema altamente inestable, permanentemente deposita y agrada algunas zonas del lecho y las orillas (**Figura 2-12**).

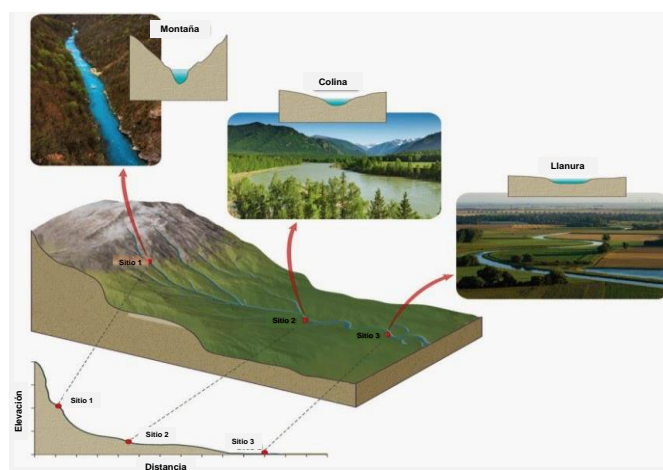


Figura 2-12 Procesos de la Geomorfología del río

Fuente: Pepper Maja, 2016

Los ríos son los principales agentes formadores del paisaje dependiendo de la litología, las estructuras geológicas por donde discurren y de los procesos activos e inactivos presentes en una determinada región (erosión, transporte, sedimentación), van conformando configuraciones diferentes de paisajes. Las tasas de evolución de los procesos que moldean el paisaje en un sistema fluvial están condicionadas por el clima, las actividades humanas que generan o imponen controles al flujo, generadores de fallas, pliegues, etc. (Posada, 1994) (**Figura 2-13**).

Tipo	A	B	C	D	DA	E	F	G
Base	1							
Roca	2							
Adoquín	3							
Grava	4							
Arena	5							
Barro	6							
Entrada	< 1.4	1.4 - 2.2	> 2.2	n/a	> 4.0	> 2.2	< 1.4	< 1.4
P/D	< 12	> 12	> 12	> 4.0	< 4.0	< 12	> 12	< 12
Sinuoso	1 - 1.2	> 1.2	> 1.2	n/a	Variable	> 1.5	> 1.2	> 1.2
Pend.	.04-.099	.02-.039	< .02	< .04	<.005	< .02	< .02	.02-.039

Figura 2-13 Esquema para la descripción morfológica

Fuente: Rosgen, 1994

Roseam, Brockman, Ruth, (2010), en “hydraulic geometry relationships and regional curves for the inner and outer bluegrass regions of Kentucky” determina relaciones entre la geometría hidráulica y las curvas regionales que se utilizan en el diseño de canales naturales, habiéndose obtenido valores alto de  $r^2$  de hasta 0,95 (**Figura 2-14**).

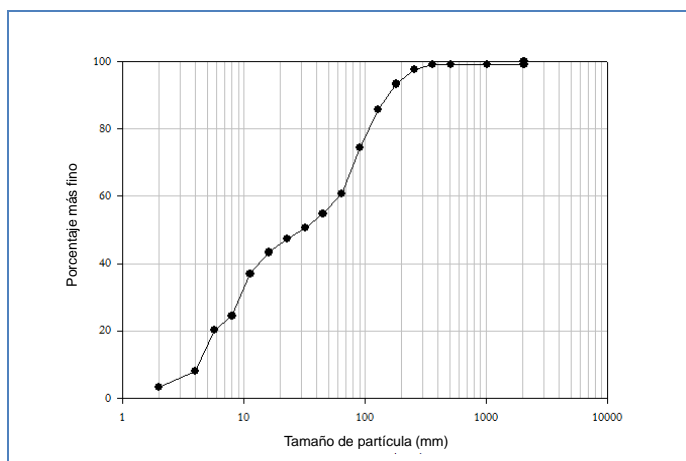


Figura 2-14 Porcentaje de partículas finas

Fuente: Roseam, Brockman, Ruth, 2010

Leopold y Maddock (1953) fueron uno de los primeros en desarrollar la teoría de la geometría hidráulica. Sus ecuaciones empíricamente desarrolladas han sido desde entonces escudriñadas teóricamente; otros también han contribuido a la idea de la geometría hidráulica.

La geometría hidráulica es un método para describir lo que sucede con las características del río, tales como anchura y velocidad, en términos cuantitativos, tanto en la estación (por ejemplo, cambios en el área de la sección transversal con cambios en la descarga) y aguas abajo Una red de corrientes (Leopold y Maddock, 1953; Singh, 2003).

Hay muchos estudios relacionados con la geometría hidráulica; Algunos utilizan datos empíricos para desarrollar relaciones hidráulicas (Leopold y Maddock, 1953, Emmett, 1975, Dunne y Leopold, 1978, Dollon et al., 2003, Keaton et al., 2005), mientras que otros intentan definir estos estudios empíricos con explicaciones teóricas (Leopold et al., 1964).

Las pendientes empinadas y las pendientes cóncavas, que concentraron el escurrimiento, produjeron las mayores cantidades de sedimento (Schumm, 1987).

Para Begay, C. L. (2012), el balance de Lane, entre la resistencia y las fuerzas motrices; muestra que un cambio en un factor causa un cambio, originando que se presenten procesos como la degradación y la agradación o la deposición de material de sedimento. Por esta relación, el sistema está en equilibrio si la carga de sedimento es transportada dentro y fuera (**Figura 2-15**).

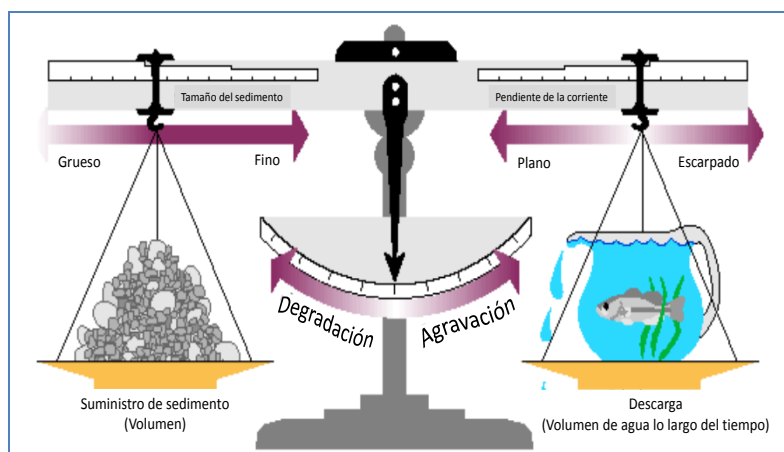


Figura 2-15. Esquema del Balance de la línea de energía

Fuente: Rosgen, 1994

## 2.3 Aspectos conceptuales

### 2.3.1 Sección transversal

Según Lord, et al (2009), en su investigación titulada Fluvial geomorphology: Monitoring stream systems in response to a changing environment, presenta el concepto de la sección transversal y su significado como:

**Definición.** La forma, la posición y los materiales de una sección transversal del canal de flujo en un punto específico. La geometría y las características de la sección transversal de la corriente pueden ser monitoreadas en áreas clave de interés científico o de manejo.

**Significado.** Los cambios en la sección transversal de un canal pueden proporcionar datos fácilmente cuantificables para determinar las tasas de migración, las altas marcas de agua y las áreas de deposición y erosión. Al igual que ocurre con otros signos vitales del canal, los cambios en la sección transversal pueden ser causados por el alcance o los cambios en la escala de la cuenca en los presupuestos de la hidrología o de los sedimentos o en la dinámica del arroyo natural.

### 2.3.2 Sistemas naturales

Ollero, O., A. 2016, define a los ríos que son sistemas naturales enormemente dinámicos y complejos. Su principal función es el transporte de agua, sedimentos, nutrientes y seres vivos, pero además conforman corredores de gran valor ecológico, paisajístico, bioclimático y territorial, que enlazan montañas y tierras bajas.

Por tanto, la red fluvial constituye un elemento clave en la dinámica ambiental y en la planificación territorial. Transportan agua, ese bien extraordinario, y es agua que se ve fluir, que se siente y se escucha, que cambia continuamente, en el tiempo y en el espacio. Por ello son los ríos protagonistas allá por donde circulan.

Estos sistemas naturales en equilibrio dinámico están ajustándose permanentemente, en el espacio y en el tiempo, a las fluctuaciones de los caudales líquidos y sólidos, lo que se traduce en movilidad lateral y vertical. Esta movilidad es un mecanismo de regulación y es también el motor de una dinámica ecológica intensa, garante de la riqueza y diversidad de estos sistemas naturales (**Figura 2-16**).

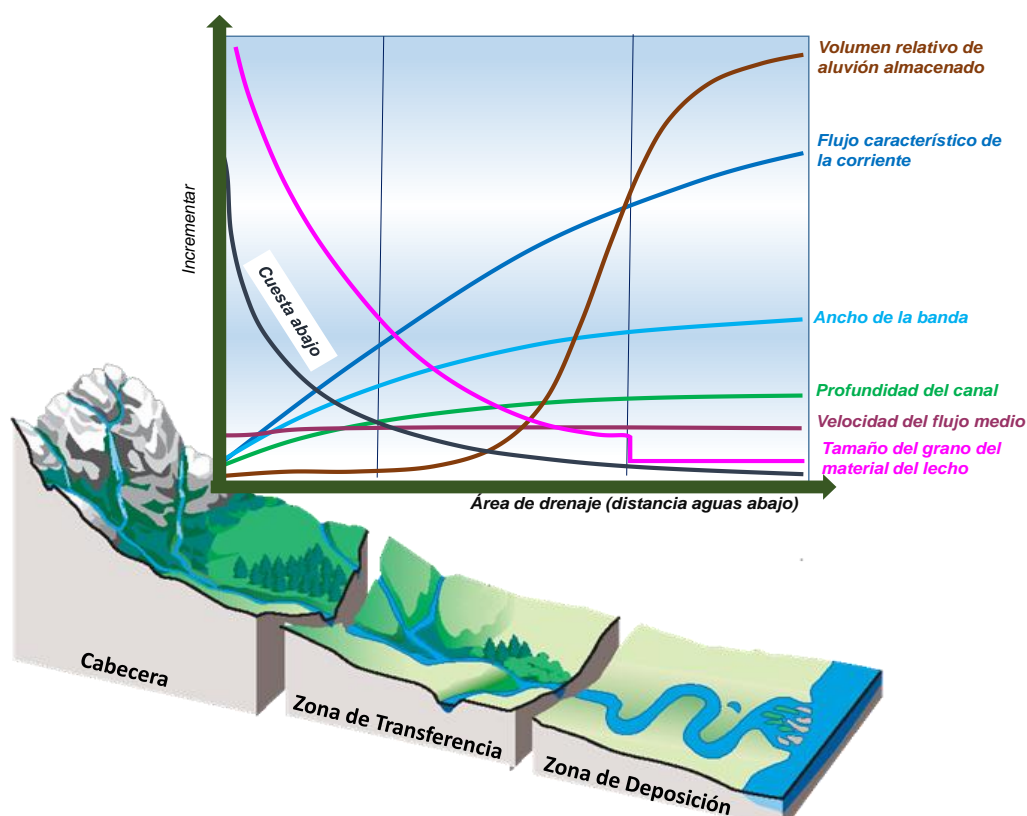


Figura 2-16 Cambios en los tipos de canales en tres dominios de proceso. El caudal, el tamaño del canal y las características del sedimento cambian a lo largo del perfil longitudinal.

Fuente: Monthermery, et al, 1997

### 2.3.3 Hidrología

Según Lord, et al (2009), en su investigación titulada Fluvial geomorphology: Monitoring stream systems in response to a changing environment, presenta el concepto de la hidrología y su significado como:

**Definición.** Frecuencia, magnitud y duración de las tasas de flujo de la corriente y su relación con las precipitaciones, la fusión de nieve, el agua subterránea y los patrones de vegetación. Los cambios en la hidrología del arroyo pueden ser monitoreados directamente a través de patrones de la cobertura vegetal. Los estudios de paleohidrología pueden utilizarse para comprender mejor los patrones hidrológicos pasados y las relaciones causales.

**Significado.** El agua conduce sistemas fluviales y conecta todas las partes de una cuenca hidrográfica. También está directamente vinculado a los sistemas climáticos y biológicos. Los patrones hidrológicos pueden reaccionar inmediatamente a los cambios en la cuenca; Esto es

distinto de otros signos vitales fluviales, que pueden tardar años o décadas en responder a cambios en los mecanismos forzantes.

## 2.4 Hidraulica Fluvial

En la ingeniería de ríos o ingeniería fluvial se estudian los conductos a cielo abierto que pueden ser susceptibles a erosionarse (**Figura 2-17**); es decir, sólo se estudian los cauces no revestidos y por ser parte integral del sistema de drenaje de una cuenca hidrológica, pudiendo presentar problemas de erosión, desbordamiento, azolvamiento, formación de meandros, cambio de lecho, formación de uno o más brazos para conducir el gasto, transporte de sedimentos, etc.

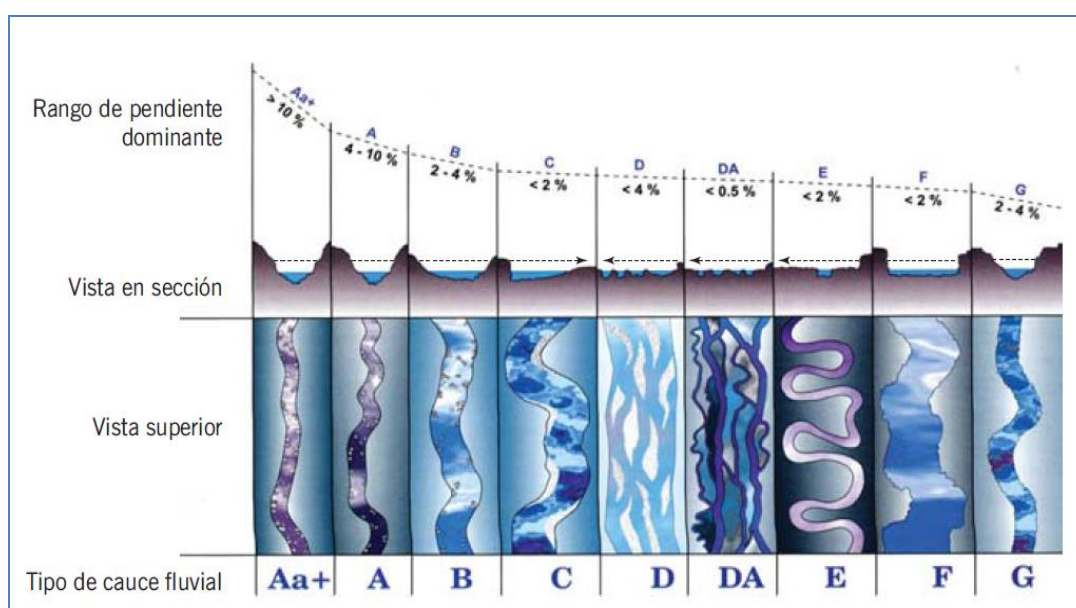


Figura 2-17 Tipología fluvial, según Rosgen (1996)

Fuente: (Rosgen, 1996)

Su análisis, evaluación y cuantificación permiten prever los daños que se pueden originar por los procesos de alteración de la dinámica fluvial en los ecosistemas naturales por acción de las actividades antrópicas (Elosegi, Arturo y Sabater, Sergi, 2009); protegiendo zonas de posibles inundaciones y predecir las características estables de un cauce natural (Péres, Morales, Guillermo B.; Rodríguez Castro, Jesús A. y Molina, Aguilar, Juan P., 2014).

Para (Elosegi, Arturo y Sabater, Sergi, 2009), manifiesta que la geomorfología fluvial describe las características y funcionamiento de los ecosistemas naturales y que entre sus principales afectaciones los cambios en la forma del cauce, canalizaciones, revestimientos de ingeniería dura, diques laterales, pequeñas presas o azudes que alteran la dinámica de sedimentos, ocupaciones de la llanura de inundación, etc. Otras de las afectaciones comunes están ligada a cambios a la cantidad de sedimentos exportados por la modificación en los usos del suelo o prácticas indebidas en la cuenca; como puede ser por la desaparición de la vegetación en las riberas.

#### 2.4.1 Función del río

Para Lord, et al (2009), en su investigación titulada Fluvial geomorphology: Monitoring stream systems in response to a changing environment, manifiesta que los ríos son elementos paisajísticos dinámicos cuyas principales funciones son drenar el paisaje y transportar los sedimentos. El canal morfológico (sección transversal, vista en planta y configuración de un canal) desarrolla una forma que se ajusta al gradiente topográfico regional, al régimen hidrológico medio y a la carga de sedimentos que drena la cuenca. A su vez, los invertebrados, la vegetación ribereña (vegetación que crece a lo largo de los bancos o en la llanura flotante) y la vida silvestre; se ajustan al canal y al régimen hidrológico y al transporte de sedimentos (Petts and Amoros, 1996). Todo el sistema, físico y biológico, desarrolla una condición de equilibrio en respuesta al control externo como los factores de la tectónica, la geología, los suelos, el clima y el uso del suelo (Schumm, 1977).

Un flujo típico, cotidiano (no tormentoso) hace poco para modificar la forma del canal, pero, entonces surge la pregunta, ¿cuál es la descarga? Claramente debe ser una descarga que genere suficiente esfuerzo de cizallamiento para mover el material que el cauce y la sección del canal (Andrews y Nankervis, 1995). Muchos datos sugieren que la descarga (volumen de agua que lleva un canal por unidad de tiempo) es la genera la formación del canal, y muchos canales morfológicos (Schumm, 1977; Leopold, 1994; Rosgen, 1996; Knighton, 1998). Para la mayoría de los ríos, esta descarga ocurrirá una vez cada dos años más o menos, aunque existen enormes variaciones de región a región y de río a río.

#### 2.4.2 Dinámica vertical

La dinámica vertical de los sistemas fluviales comprende todas aquellas interacciones que se producen en el fondo del lecho, principalmente procesos de erosión (incisión), sedimentación (acreción), formas de relieve de fondo (sucesión de rápidos y pozas) y la continuidad con los medios hiporreicos (contacto entre el agua y el sustrato) y subterráneos (**Figura 2-18**). En los ríos en roca el contacto del cauce con el sustrato es nítido, pero en los cursos aluviales el agua circula también a través de los sedimentos que conforman el fondo del lecho (zona hiporreica) y el cauce está en contacto con el acuífero aluvial (aguas subterráneas) (Ballarín, et al, 2013).



Figura 2-18. Río Bernesga, erosión  
Fuente: Ballarín, et al, 2013



### 2.4.3 Transporte de Sedimentos

El transporte de sedimentos (**Figura 2-19**) es una de las principales funciones de los sistemas fluviales. Consiste en la movilización de material sólido (material aluvial) desde las zonas de cabecera hacia las zonas de desembocadura, al tiempo que ese mismo material es erosionado y redondeado durante el transporte. El transporte de sedimentos también incluye la movilización del material que es aportado desde las vertientes y que el río debe evacuar de su cauce.



Figura 2-19 Río Bernesga, sedimentos

Fuente: Ballarín, et al, 2013

### 2.4.4 Disposición de los sedimentos

Los sedimentos generados y transportados por los ríos se depositan y estructuran de forma estratificada gracias al flujo de la corriente: se clasifican por tamaños en función de la velocidad de la corriente en cada punto, y se colocan unos sobre otros en dirección aguas abajo. La disposición irregular de los sedimentos, se debe a la deficiencia del funcionamiento del sistema (**Figura 2-20**).

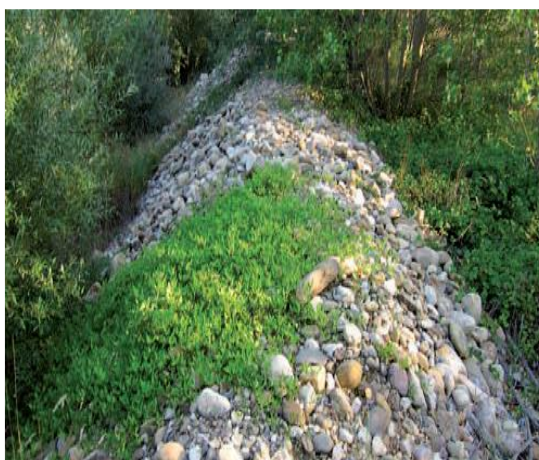


Figura 2-20 Deposición de sedimentos

Fuente: Ballarín, et al, 2013

#### 2.4.5 Vegetación de ribera

La vegetación es el conjunto de plantas que crece en el entorno de los ríos, en las orillas, dentro del cauce y en los espacios de inundación (**Figura 2-21**). Hay muchas especies adaptadas a los espacios ribereños y que constantemente están en procesos dinámicos de remoción. Esta vegetación ribereña, tiene un papel fundamental a la hora de frenar el flujo de la corriente fluvial, especialmente en crecidas. Además de frenar el agua, la vegetación contribuye a la sedimentación de la carga en suspensión que lleva el río, generando un sustrato muy rico en nutrientes y creando hábitats de especial interés para las diferentes especies animales y vegetales que viven asociadas a los ambientes fluviales. Esta función de corredor verde sirve para una mejor interacción del río con los ambientes adyacentes y es un espacio de gran riqueza (Ballarín, et al, 2013).



Figura 2-21. Bosque ribereño  
Fuente: Ballarín, et al, 2013

#### 2.4.6 Equilibrio del lecho del río

El lecho de un río está en equilibrio, en presencia de transporte de sedimento, cuando las partículas que erosionan son las mismas que sedimentan, de manera que el fondo no modifica su cota. Al tratarse de un equilibrio móvil también se pueden considerar ciclos de manera que al cerrarse un ciclo no haya ni exceso ni falta de sedimento y el fondo se pueda considerar en equilibrio.

Una herramienta sencilla para entender cualitativamente, aunque con limitaciones, el fenómeno de equilibrio de fondo en un río, es la Balanza de Lane (1955), como puede apreciarse en la **Figura 2-22**, que propone una relación entre cuatro variables:

- |                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| - El caudal líquido unitario         | $q$ ,  |
| - El caudal sólido unitario de fondo | $qs$ , |
| - La pendiente                       | $S$ ,  |
| - El tamaño del sedimento            | $D$ .  |

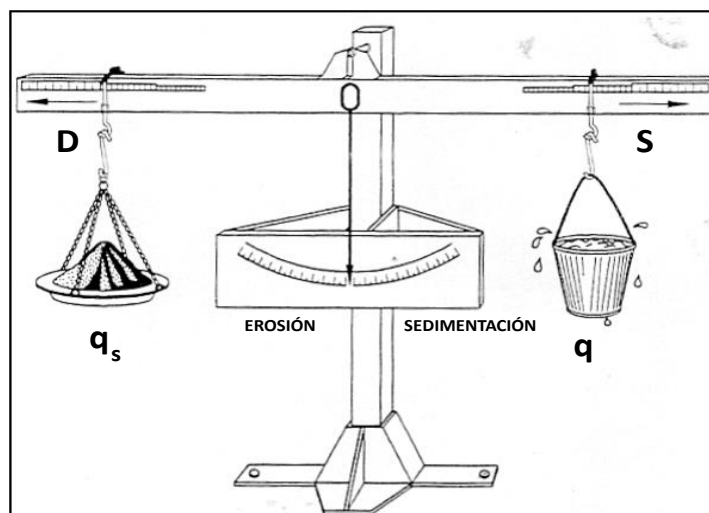


Figura 2-22. Analogía de la balanza de Lane  
Fuente: Lane, (1955)

La balanza permite determinar el comportamiento de un río si se varían sus condiciones de equilibrio natural de manera que, una variación en el peso (caudales unitarios líquido o sólido) o una variación en el brazo de palanca, pendiente o tamaño de la partícula, conducirá a un desequilibrio erosivo o de sedimentación.

Para cada problema concreto se ha de valorar que parámetros de la balanza han provocado el desequilibrio y cuáles se pueden reajustar para devolver la posición vertical de equilibrio. Cuando los caudales líquido y sólido de un río no están equilibrados se tendrá un exceso de transporte de fondo (“sobrealimentación”) o un defecto (“subalimentación”), y por eso se producirá una sedimentación o erosión respectivamente. Así siempre que se da un desequilibrio de caudales el fondo evoluciona hacia una nueva situación de equilibrio variando su pendiente hasta conseguir una nueva pendiente de equilibrio.

Un ejemplo de esto sería un desequilibrio en el que se tiene mucho agua y pocos sólidos, entonces se da una erosión del fondo que bascula hasta alcanzar una pendiente menor. Por último se indica que el equilibrio también depende del tamaño del sedimento, porque para un mismo caudal líquido y sólido la pendiente de equilibrio será más alta en la medida que el sedimento sea más grueso.

En el caso de muchos ríos es interesante señalar el sentido que toma la pendiente de fondo ante un desequilibrio. Esta es la variable que asume la función de reestablecer el equilibrio, que se traduce en los basculamientos que se dan en el fondo de un río.

#### 2.4.7 Perfil de velocidad

Las velocidades en un canal no están uniformemente distribuidas. Esto se explica por los efectos que la resistencia cortante del fluido en movimiento tiene en distintos puntos. La **Figura 2-23**, muestra la distribución de velocidades en un canal de sección rectangular. Las líneas continuas del centro de la figura corresponden a isotácas (curvas de puntos de igual velocidad); las líneas laterales son los perfiles de velocidad en las correspondientes secciones

verticales y las que se presentan en la parte superior de la figura son los perfiles de velocidad en las secciones horizontales indicadas.

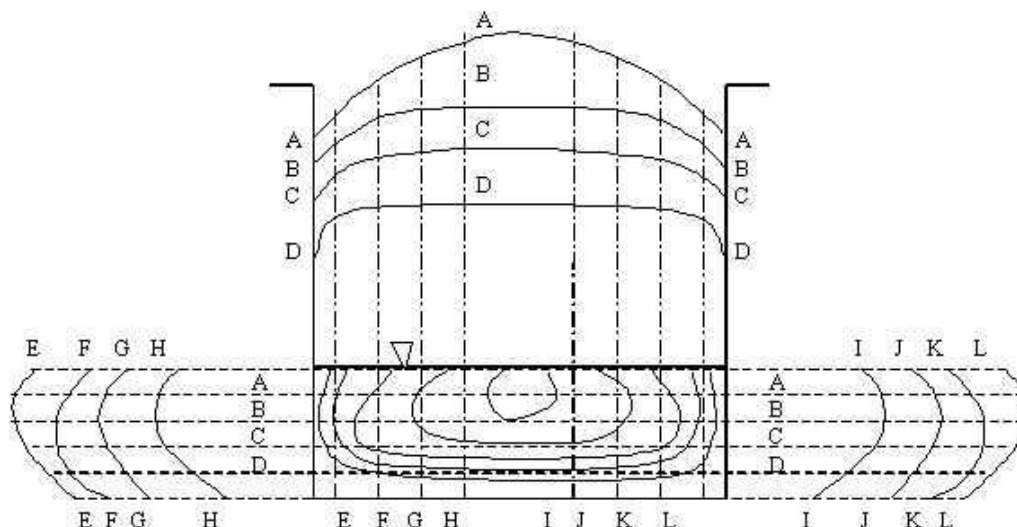


Figura 2-23 Perfiles de velocidad en el río  
Fuente: (Mejía Garcés, 2009)

El estudio de la distribución de la velocidad, se base en conocer cuál es la resistencia al flujo, para lo cual se utilizara la teoría de la ley de pared; la cual se basa en la distribución de las tensiones de Reynolds a lo largo de la profundidad de agua manteniendo la hipótesis de ley hidrostática de presiones.

La **Figura 2-24**, muestra la distribución de tensiones y velocidades del flujo en una sección; observándose que ellas siguen el supuesto de la ley hidrostática de presiones, siempre y cuando se cumpla que el flujo es uniforme y permanente. Esta ley se puede expresar (Bateman, 2015):

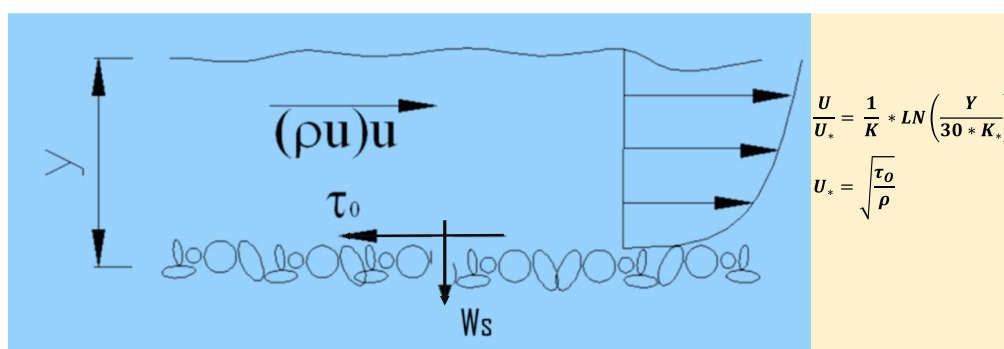


Figura 2-24. Distribución de tensiones y de velocidad en el cauce del río  
Fuente: Bateman, Allen (2015)

$$\tau_b = \gamma * R * S \quad (1)$$

Donde:

$\tau_b$ : Es la tensión que se ejerce en el fondo debido a las fuerzas de peso del agua en la dirección del movimiento

R : Es el radio hidráulico que se define como el área mojada entre el perímetro mojado  
S : Es la pendiente media del fondo.

Su aproximación a cauces anchos como es el caso de nuestro trabajo, es cambiar el radio hidráulico por la profundidad de agua.

Teniendo en consideración el término de capa límites laminar, la tensión de fondo se puede expresar en función de la velocidad de corte:

$$\tau_b = \rho * U_*^2 \quad (2)$$

Donde:

$\rho$  : Es la densidad del agua

Sabemos que la tensión se distribuye linealmente con la altura y la distribución hidrostática de presiones, lo que permite escribir la expresión siguiente:

$$\tau = \tau_b * \left(1 - \frac{z}{h}\right) \quad (3)$$

En esta ecuación, z es la profundidad media desde el fondo. Teniendo en consideración la teoría de longitud de mezcla de Karman – Prandtl, podemos definir la distribución de la velocidad de la manera siguiente:

$$\frac{U}{U_*} = \frac{1}{k} * \ln\left(\frac{z}{k_0}\right) \quad (4)$$

Donde:

U : es la velocidad del agua a una altura z, mientras que k es la constante universal de Karman – Prandtl y vale aproximadamente 0,41 para placas infinitas y  $z_0$  es la altura de la capa laminar y donde comienza la capa turbulenta.

En caso que el flujo sea rugoso, donde la rugosidad absoluta  $k_s$  es mucho más grande que la altura de la capa laminar, entonces se puede reemplazar la ecuación anterior con la siguiente distribución de velocidades:

$$\frac{U}{U_*} = \frac{1}{k} * \ln\left(30 * \frac{z}{k_s}\right) \quad (5)$$

Para nuestro caso, procederemos a usar la expresión anterior.

#### 2.4.8 Cauce

La definición de cauce desde un punto de vista legal o reglamentario y desde el punto de vista físico, como podemos ver:

- Álveo o cauce natural de una corriente continua o discontinua es el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias. La determinación de este terreno se realizará

atendiendo a sus características geomorfológicas, ecológicas y teniendo en cuenta las informaciones hidrológicas, hidráulicas, fotográficas y cartográficas que existan y las referencias históricas disponibles (**Figura 2-25**).

- Forma de relieve construida y dimensionada por el sistema fluvial para el transporte eficiente del caudal líquido y sólido. Puede ser simple o múltiple (trenzado, anastomosado), rectilíneo sinuoso, con mayor o menor tendencia meandriforme. Presenta un encajamiento que permite su delimitación y por él circula el caudal la mayor parte del año. Sus caracteres (sección, profundidad, número de brazos, morfología del lecho, orillas y textura) son el resultado de la interacción entre las condiciones geomorfológicas del terreno (litología, pendiente, etc.) y las características del flujo (caudales, regímenes variables, caudal sólido, etc.)

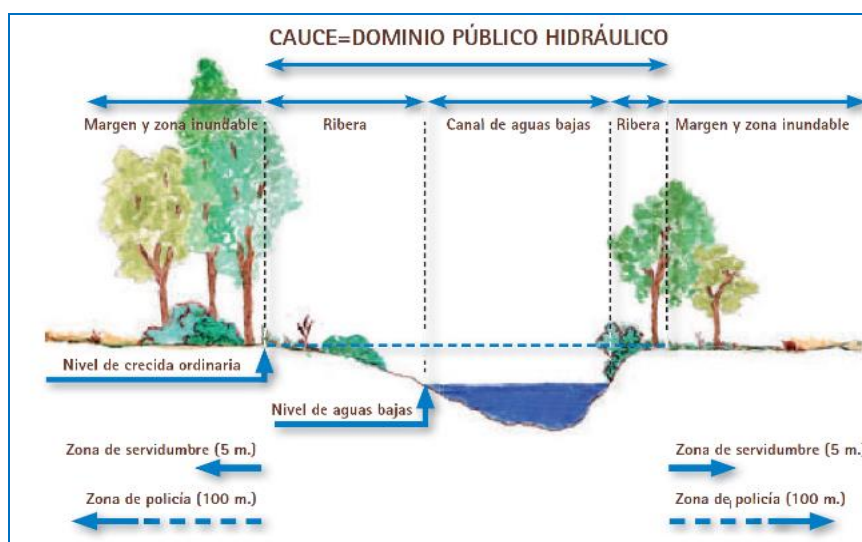


Figura 2-25. Partes del cauce de un río  
Fuente: Ballarín, et al, 2013

## 2.5 Aforo en grandes ríos Amazonicos

### 2.5.1 Aforo líquido

Consiste básicamente de campañas de aforo que se han realizado en la cuenca amazónica desde el 2002 hasta el 2016, permitiendo con ello generar data importante de la dinámica fluvial del río Marañón y Huallaga.

Para la medición del caudal líquido se hizo uso de un ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler - Perfilador Acústico de Corriente tipo Doppler), equipo que va instalado al costado de un bote o lancha, a través de un soporte metálico, tal como se aprecia en la **Figura 2-26**.

El equipo se complementa con una laptop (**Figura 2-27**), la cual cuenta con un software especializado que permite realizar la comunicación con el ADCP y registrar la variabilidad de los sensores y obtener el perfil batimétrico de la sección de aforo, conjuntamente con los datos de velocidad y caudal del río.



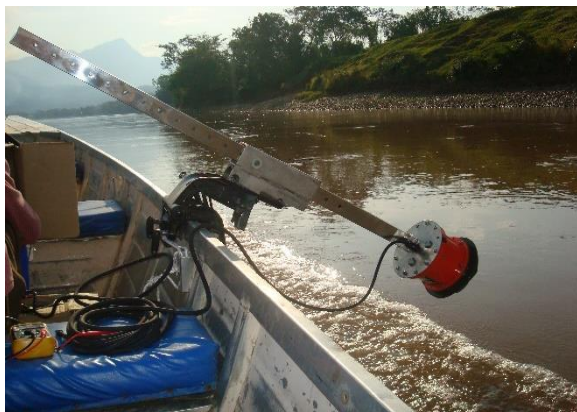


Figura 2-26. ADCP instalado en el bote para aforo  
Fuente: Senamhi, 2008



Figura 2-27 Laptop para registrar el aforo  
Fuente: SENAMHI, 2011

Instalado el equipo ADCP y su conexión directa con la laptop, se procede a realizar los aforos; para lo cual se realizaron un total de cinco (5) pasadas con el bote, desde una margen hacia otra lo más perpendicular posible, siempre tratando de mantener una línea continua y a una velocidad constante. Dicho proceso permitirá que los sensores del ADCP, registren la variabilidad de la sección transversal (profundidad), la distancia transversal y la velocidad de la corriente, obteniendo una imagen como la que se muestra en la **Figura 2-28**.

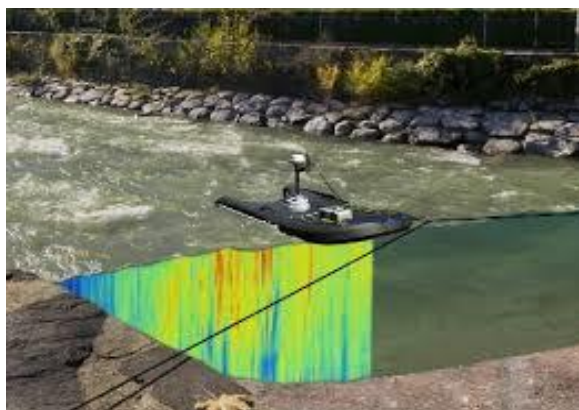


Figura 2-28. Sección de aforo  
Fuente: (AproTec, 2017)

En cada una de las pasadas, el ADCP nos permitirá obtener la información para caracterizar la sección transversal de aforo, así como también la velocidad de la corriente y el volumen de agua por unidad de tiempo.

#### - ADCP

El ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler - Perfilador Acústico de Corrientes tipo Doppler) (**Figura 2-29**) es un sistema preciso y rápido que permite tomar muestras de perfiles de corrientes, diseñado para operar desde un bote en movimiento, o por sistema de poleas y lazos; por tal motivo el equipo es considerado como el más rápido, el más seguro, y el método más flexible para mediciones de caudales en ríos de planicie, en la actualidad. La capacidad de integración con sensores externos: GPS, sondeos de profundidad, y brújulas externas a través del software hace que dicha herramienta sea la más recomendada para las mediciones de caudales y para realizar batimetrías (se anexa al presente informe el certificado de funcionamiento del equipo). (HidroLógica, 2015),



Figura 2-29. ADCP

Fuente. SENAMHI, 2010

El ADCP permite registrar con exactitud, eficiencia y confiabilidad la profundidad, la magnitud y dirección de las velocidades de flujo en la columna de agua. Su funcionamiento consiste en tres ondas acústicas verticales que se envían desde el transductor, viajan hacia el fondo del lecho, se reflejan y vuelven al equipo. La profundidad del canal es calculada por medio del equipo dependiendo del tiempo que se demoró dicha onda mecánica en ir hasta el fondo y volver al transductor.

Para calcular el caudal, el equipo automáticamente genera superficies de control a lo largo de toda la vertical y calcula las velocidades de las partículas en esas superficies de control con áreas conocidas. Cada una de estas superficies se convierte en un diferencial de caudal, los cuales son integrados al final para obtener así el caudal total. Las velocidades en las superficies de control son calculadas a partir del reflejo de una pequeña porción de la onda mecánica en las partículas disueltas en el agua, a partir del cambio en la frecuencia de la onda recibida y por medio de la teoría del efecto Doppler, el equipo calcula la velocidad de dicha partícula, promedia las velocidades de todas las partículas encontradas y obtiene así la velocidad final de la superficie de control.

El ACDP es un equipo que permite agilidad en las mediciones ya que es suficiente con pasar el equipo de una banca a la otra para realizar el aforo. Esto permite realizar varias mediciones en una misma o en varias secciones, en poco tiempo. Una de sus grandes ventajas es la precisión. Dicho equipo registra profundidades de más de 80 metros con resolución de 1 mm y velocidades de hasta 1mm/s (milímetro/segundo). Además el RiverRay realiza, automáticamente, correcciones si hay desplazamiento no deseado sobre el eje transversal al flujo, indica cuando las lecturas no son realizadas de forma óptima, y muestra los vectores de velocidad en tiempo real, permitiendo al operario concluir cuál de las medidas es la mejor, tratando de no utilizar medidas en las cuales el equipo realizó giros indeseados sobre el eje (AproTec, 2017)

En la **Figura 2-30**, se muestra la distribución de los puntos de control de muestra de sedimentos según el tipo de método sugerido, para cada una de las verticales seleccionadas sobre la sección transversal de aforo.

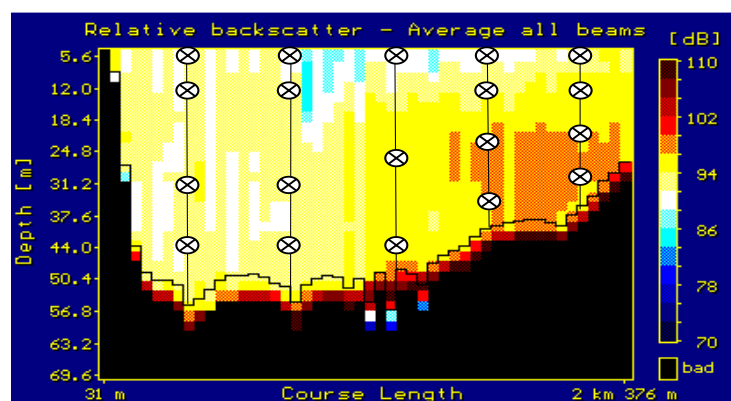


Figura 2-30 Puntos de muestreo de sedimentos  
Fuente. (Armijos Cardenas, 2010)

### 2.5.2 Aforo sólido en suspensión

Lo primero es tener en consideración, la variabilidad en la sección y la irregularidad del transporte de sedimentos en el tiempo. Es necesario para ellos, obtener una representatividad de la sección; para lo cual, se procederá a dividir la sección transversal del río (estación de aforo) en verticales proporcionales según las normas técnicas (OMM; 1994).

El muestreo puntual, se utilizan muestreadores que serán abiertos en la profundidad deseada. Para seleccionar la profundidad adecuada, existen muchas alternativas entre las cuales tenemos:

- H = 60% de la profundidad total de la vertical
- H = 20% y 80% de la profundidad de la vertical
- Dividir la vertical en tres partes (superficie, medio y cercano al fondo)

A través del Proyecto HYBAM, se recopilaron muestras de sedimentos en suspensión, en cada una de las estaciones de aforo seleccionada, tanto a nivel superficial (cada 10 días) y diferentes

profundidad (superficial, medio y cerca al fondo); permitiendo con ello conocer la variabilidad temporal de los flujos sedimentarios, cuyos análisis fueron desarrollados por (Armijos Cardenas, 2010).



Figura 2-31 a) muestras en superficie b) Muestreados de profundidad  
Fuente: (Armijos Cardenas, 2010)

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudio

Dentro del ámbito de la cuenca Amazónica Peruana, la cuenca del río Marañón, es parte integrante de este ecosistema tropical ubicado al noreste del Perú, cuya característica principal es ser una cuenca transfronteriza entre Perú y Ecuador.

Esta cuenca, pertenece a la región hidrográfica del Amazonas, abarca una superficie total de 347 525 km<sup>2</sup>. En Territorio peruano abarca 297 038 km<sup>2</sup> que corresponde al 84% y el 16% se emplaza en territorio ecuatoriano.

Geográficamente, la cuenca está ubicada entre:

Latitud Sur	:	1.416° y 10.74°
Longitud Oeste	:	73.50° y 79.618°
Altitudinal	:	46 a 6151 msnm

De acuerdo con la delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú (Autoridad Nacional del Agua, 2008) mediante el sistema Pfafstetter, la cuenca del río Marañón forma parte de la Región Hidrográfica 4 (cuenca del río Amazonas), en el nivel 2 forma parte de la Unidad Hidrográfica 49 (intercuenca Alto Amazonas), en el nivel 3 se define como Cuenca Hidrográfica del Marañón (código 498), la misma que está compuesta por 9 cuencas de nivel 4, tal como se aprecia en la **Figura 3-1**.

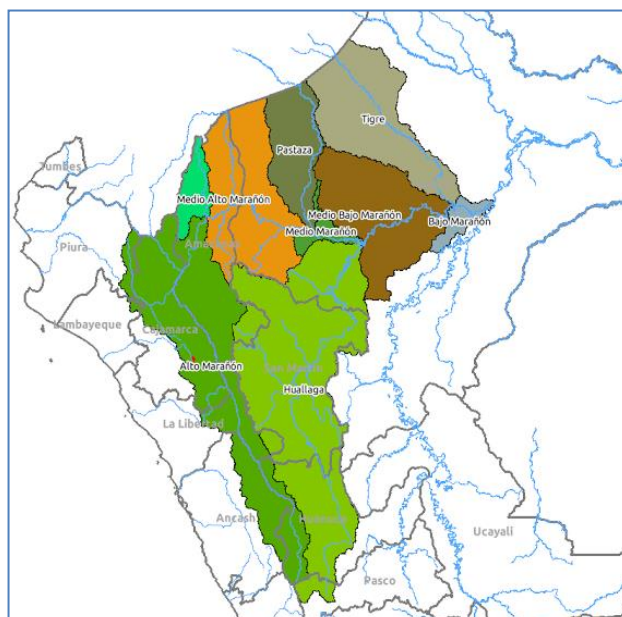


Figura 3-1 Unidades hidrográficas de la cuenca del río Marañón  
Fuente: ANA, 2008

En la **Tabla 3-1**, se puede apreciar la extensión superficial que abarcan cada una de las cuencas que forman parte de esta unidad hidrográfica, siendo la de mayor extensión la cuenca del río Huallaga y la de menor área la cuenca del río Cenepa. Hay que indicar que el río marañón se ha dividido en tres zonas hidrográficas: Baja, media y alta.

También es importante indicar aquí que la cuenca del río Marañón, se ubica en un espacio que comprender a 10 regiones del territorio nacional (Loreto, San Martín, Amazonas, Cajamarca, Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Huánuco y Pasco; espacio que alberga una cantidad de población que aproximadamente representa el 13,71% de la población nacional (INEI, 2007).

Tabla 3-1. Cuenca del río Marañón – Nivel 4

Nombre	Código	Extensión (km <sup>2</sup> )
Bajo Marañón	4981	4138.57
Cuenca del río Tigre	4982	39643.99
Media Bajo del Marañón	4983	35273.77
Cuenca del río Huallaga	4984	89416.22
Medio Marañón	4985	3925.85
Cuenca del río Pastaza	4986	36698.33
Medio Alto del Marañón	4987	66559.71
Cuenca del río Cenepa	4988	6714.59
Alto Marañón	4989	65154.33

Fuente: (ANA, 2008)

La **Figura 3-2**, muestra el área de estudio, que comprende a la cuenca del río Marañón, cuyo rango altitudinal va desde los 46 msnm (Llanura Amazónica) hasta los 61515 msnm (Amazonía Alto Andina).



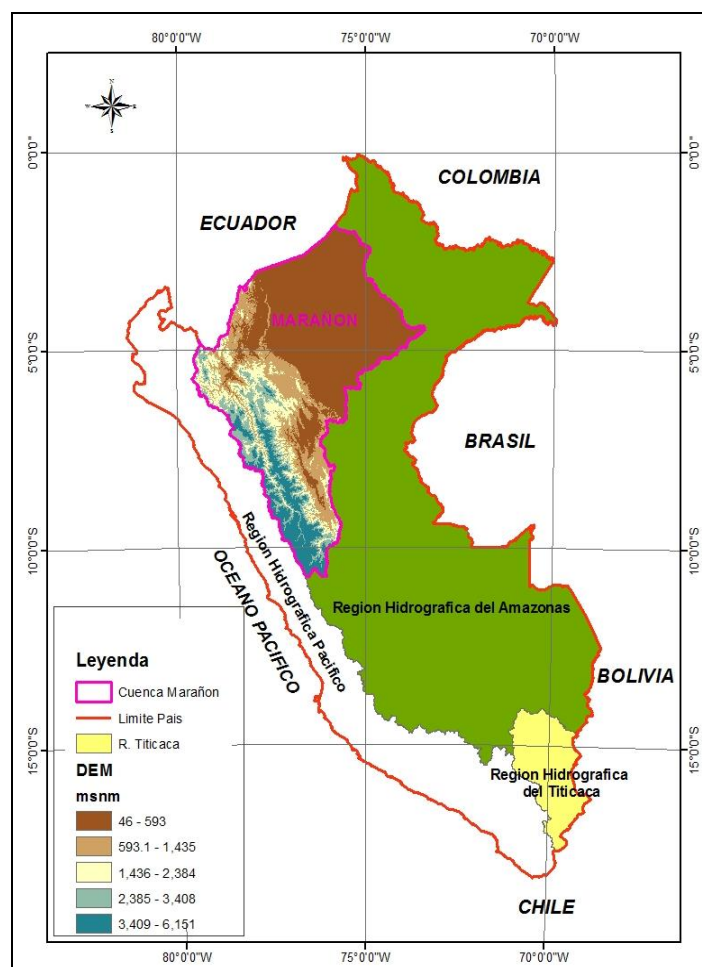


Figura 3-2. Cuenca del río Marañón

Fuente: SENAMHI 2012

### 3.1.1 Clima

La clasificación climática presentada, se basa en el mapa de clasificación climática del Perú (SENAMHI, 1988), el cual ha sido elaborado considerando factores que condicionan de modo preponderante al clima, como la latitud, la Cordillera de los Andes, la Corriente Costera Peruana (de aguas frías), el Anticiclón del Pacífico Sur y la continentabilidad. La información base de esta clasificación se sustenta en datos meteorológicos de veinte años (1965-1984), a partir de la cual se formula los índices climáticos de acuerdo con el sistema de clasificación de climas de Werren Thornthwaite. La cuenca del río Marañón, climáticamente se caracteriza, climas diversos (**Figura 3-3**) que van desde lo Tropical hasta lo Andino. Entre los climas tenemos (SENAMHI, 2008) y los climas más característicos, se muestran en la **Tabla 3-2**.

- A(r)A'H4      Clima cálido y muy lluvioso,
- A(r)B'2H3      Clima templado y muy lluvioso,
- B(i)A'H3      Clima cálido y lluvioso,
- B(i)B'1H3      Clima semicálido y lluvioso,
- B(i)B'2H3      Clima templado y lluvioso,



- B(o,i)C'H3      Clima frío y lluvioso,
- B(r)A'H3        Clima cálido y con lluvias deficientes,
- B(r)A'H4        Clima cálido y lluvioso,
- B(r)B'1H4      Clima semicálido y lluvioso,
- C(o,i,p)A'H3    Clima cálido y con deficiencia de lluvias

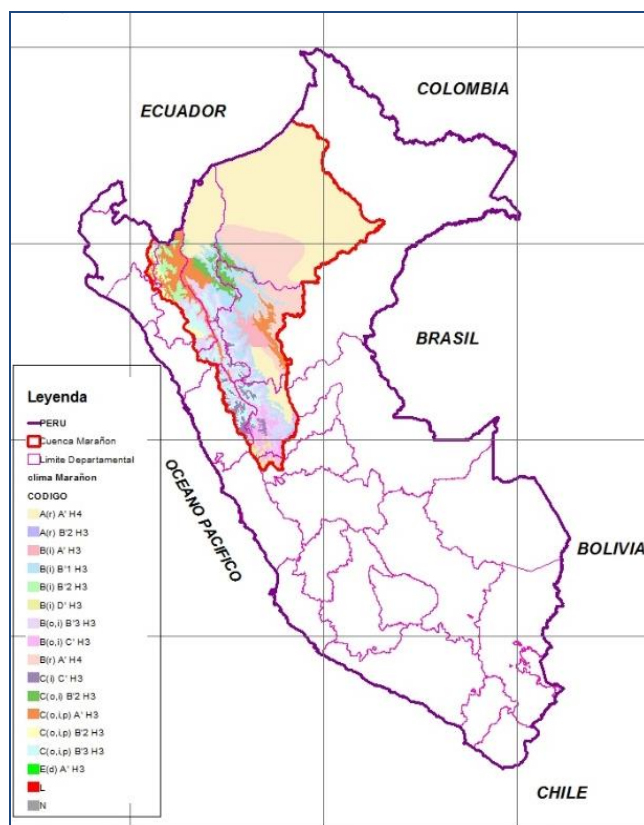


Figura 3-3. Clasificación climática de la cuenca del río Marañón  
Fuente: SENAMHI, 2008

Tabla 3-2 Característica climática de la cuenca del río Marañón

Provincias	Clima	Temperatura (°C)	Altitud Msnm
San Martín	Cálido y Húmedo	28 – 32	333
Rioja	Subtropical, Semi Húmedo	18 – 24	842
Lamas	Subtropical, Semi Húmedo	18 – 24	814
Moyobamba	Subtropical, Semi Húmedo y Pluvial	18 – 26	860
El Dorado	Templado, Subtropical y Cálido	26 – 32	600
Huallaga	Húmedo y Pluvial	25 – 32	307
Mariscal Cáceres	Cálido, Húmedo y Pluvial	28 – 34	383
Tocache	Subtropical y Húmedo	28 – 32	497
Bellavista	Tropical muy Húmedo y Seco	28 – 34	249
Picota	Seco Desértico	28 – 32	223

Provincias	Clima	Temperatura (°C)	Altitud Msnm
Luya	Seco y Lluvia estacional	11 – 20	2700
Bagua	Cálido y Moderadamente lluvioso	15 - 25	420
Utcubamba	Subtropical y Semi Desértico	20 – 31	440
Bongará	Templado, Cálido y Frío	11 - 22	1771
Chachapoyas	Húmedo, Templado y Cálido	09 – 19	2334
Condorcanqui	Cálido, Muy Húmedo y Tropical	06 - 26	224
Rodríguez Mendoza	Cálido y Húmedo	20 - 30	1300
San Ignacio	Cálidos, Templado y Frío	13 - 30	1324
Jaén	Cálidos y Húmedo	08 - 36	1675
Cutervo	Cálidos y Húmedo	05 - 22	2637
Chota	Semi Frío, Húmedo y Lluvioso	12 - 24	2388
Santa Cruz	Templado y Semi Cálidos	05 - 22	2035
Hualgayoc	Semi Frío, Húmedo y Lluvioso	05 - 22	3502
Celendín	Semi Frío, Húmedo y Lluvioso	09 – 12	2750
San Pablo	Frío y Seco	07 – 20	2365
San Miguel	Templado y Semi Cálido	06 - 21	2620
Contumaza	Templado y Semi Cálido	05 - 22	2674
Cajamarca	Semi Seco, Templado y Semi Frío	05 - 21	2720
Cajabamba	Semi Frío, Húmedo y Lluvioso	12 - 22	2654
San Marcos	Semi Frío, Húmedo y Lluvioso	08 - 30	2828
Ambo	Templado y Seco	17 - 27	2800
Huánuco	Templado, Frío y Tropical	24 - 29	1894
Dos de Mayo	Cálido, Templado y Frígido	05 - 23	2960
Huacaybamba	Frío y Seco	08 - 15	3168
Huamalies	Templado, Frío y Seco	08 - 23	3439
Marañón	Cálido, Húmedo y Lluvioso	18 - 28	138
Lauricocha	Frío Boreal y Gélido	05 -12	3000
Leoncio Prado	Cálido, Húmedo y Lluvioso	18 - 29	660
Alto Amazonas	Cálido y Húmedo	21 - 32	220
Datem del Marañón	Cálido, Húmedo y Lluvioso	11 - 35	128
Loreto-Nauta	Tropical, Cálido y Húmedo	20 - 36	111

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2 Población

En la cuenca del río Marañón, una de las regiones con mayor incidencia poblacional es la de San Martín (**Figura 3-4**), que se caracteriza por una población con gran cantidad de migrantes provenientes de las regiones vecinas. Para muchos pobladores de San Martín, hay una relación directa entre migración, crecimiento de la población y deforestación.



Figura 3-4. Región de San Martín

Fuente: (BCRP, 2008)

Los migrantes se instalaron inicialmente invadiendo bosques que talaban para sembrar cultivos de pan llevar. Esto se ve reflejado en la explosión demográfica que registra región, desde 1972 hasta 2012, con un incremento poblacional de 906322,3 habitantes en 72 años. La provincia con menor desarrollo poblacional es Hualлага, tal como se aprecia en la **Tabla 3-3**.

Tabla 3-3 Desarrollo Poblacional en la Región San Martín

Provincia	Población Censada				2012
	1972	1984	1993	2007	
Moyobamba	20759	36285	69943	115389	219066.0
Bellavista	16064	18851	34414	49293	56170.5
El Dorado	15515	17782	23409	33638	41842.9
Hualлага	12941	15361	22236	24448	32827.0
Lamas	42198	46604	67253	79075	89480.8
Mariscal Cáceres	20462	24625	49798	50884	53533.4
Picota	16118	19475	26955	37721	42792.0
Rioja	10444	37935	69787	104882	187422.8
San Martín	53113	73242	118069	161132	205370.3
Tocache	16813	29591	70523	72346	63648.8
Total	224427	319751	552387	728808	1001165.3

Fuente: Elaboración propia

En la zona de estudio, tenemos asentadas comunidades nativas (**Figura 3-5**), las cuales por su definición son conjuntos de familias vinculadas por su idioma, caracteres culturales y sociales, tenencia y usufructo común y permanente de un mismo territorio, con asentamiento nucleado o disperso; y que tienen origen en los grupos tribales de la Selva y Ceja de Selva (Perú, 1978).

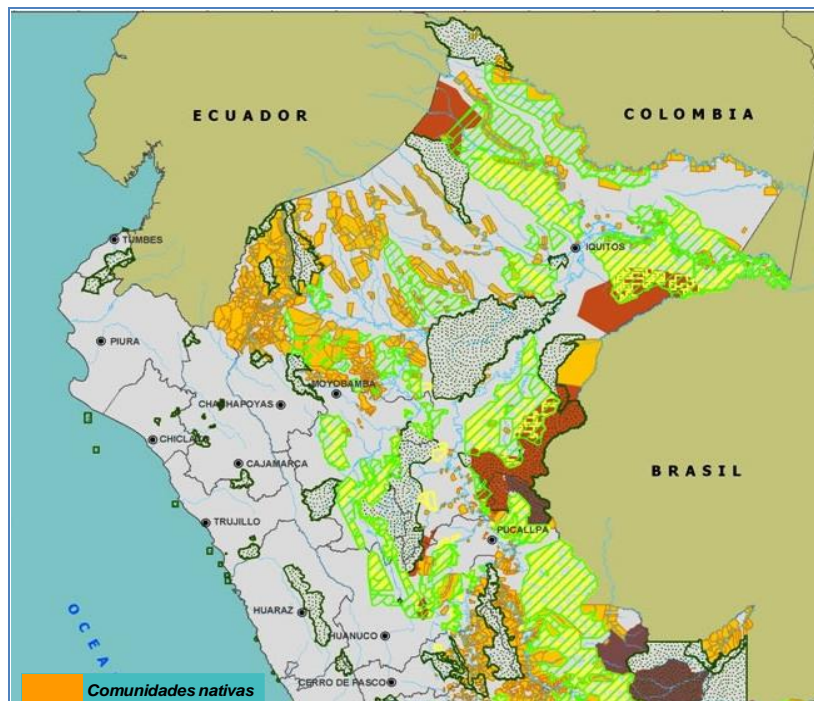


Figura 3-5. Comunidades nativas en la cuenca del río Marañón

Fuente: [www.territorioindigenasygobernanza.com](http://www.territorioindigenasygobernanza.com)

En la **Tabla 3-4**, apreciamos la cantidad de comunidades nativas por departamentos, seleccionándose aquellos que son parte de la cuenca del río Marañón, resaltando entre ellas las ubicadas en el Amazonas que alberga un total de 9817 familias distribuidas en 176 comunidades nativas (COFOPRI, 2006).

Tabla 3-4. Número de comunidades nativas tituladas y pendientes

Departamento	Comunidades Nativas Inscritas		Comunidades nativas Tituladas		Comunidades pendientes a titular
	Número	Familia	Número	Superficie (has)	
Amazonas	176	9817	170	1422951	6
Cajamarca	2	281	2	117936	0
Huánuco	16	402	8	76033	8
San Martín	30	961	29	221730	1
Total	224	11461	209	1838650	17

Fuente: COFOPRI, 2006

Dentro de ambiente físico, la cuenca alberga poblaciones andinas, comunidades campesinas, comunidades nativas amazónicas, poblaciones ribereñas, zonas urbanas andinas y amazónicas, entre otros.

Para esta zona, más de las tres cuartas partes de la cuenca, cuenta con un Índice de Desarrollo Humano - IDH (**Figura 3-6**) en los quintiles IV y V (los más bajos); sin embargo, a nivel distrital por cuenca, se han identificado distritos comprendido en los quintiles I, II y III, destacando por un lado la región de San Martín; mientras que la región Amazonas, es la que muestra la mayor proporción de distritos con niveles más bajos (PNUD, 2007).

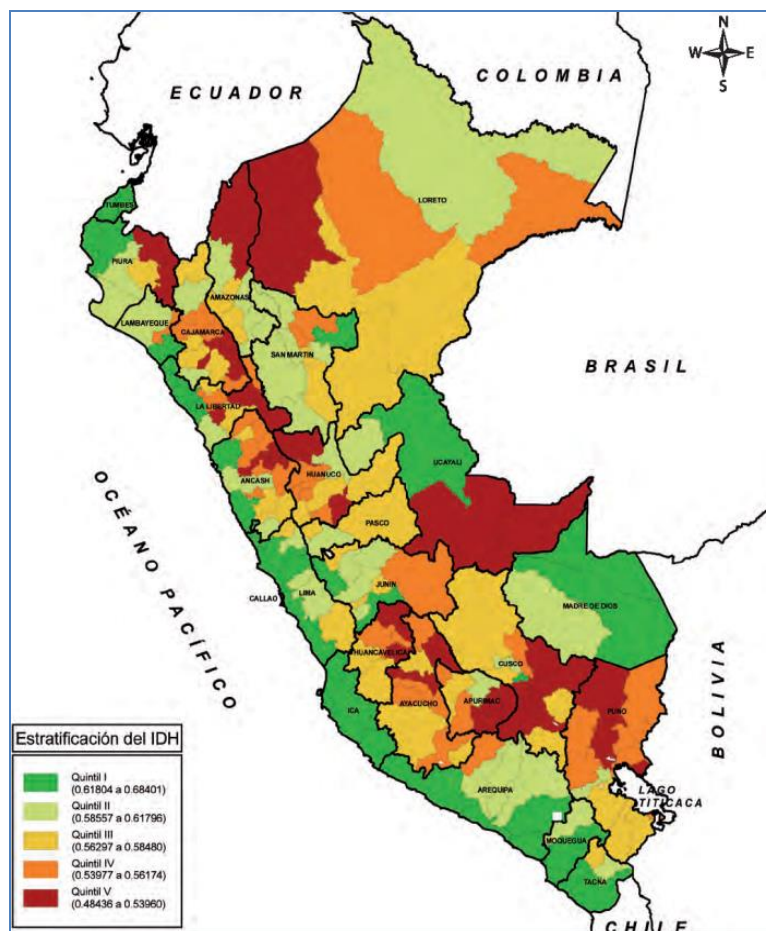


Figura 3-6 Índice de Desarrollo Humano del Perú – IDH

Fuente: PNUD, 2007

Por otro lado, las actividades productivas en la cuenca del Marañón, varían desde las actividades agrícolas y pecuarias tradicionales amazónicas y andinas, hasta proyectos y emprendimientos de agro industria, explotación forestal, explotación minera (en todas las escalas), explotación de hidrocarburos, turismo, entre otros. Si bien no se ha podido obtener datos específicos respecto al aporte y composición del PBI nacional y regional a nivel de cuencas es importante destacar que para el caso del PBI nacional, toda la cuenca amazónica peruana, aporta con un 17,6 %, mientras que las cuencas ubicadas en la vertiente del Pacífico, concentran alrededor del 80 % del PBI nacional (Durand, 2006).



### 3.1.3 Deforestación

La **Figura 3-7**, muestra los grados de deforestación en la amazonia peruana, apreciándose claramente que la mayores extensiones se encuentra dentro de la cuenca del río Marañón, habiéndose registrado hasta el año 1985 un total de 5'642,447 ha y en el año 1990 un total de 6'948,237 ha.

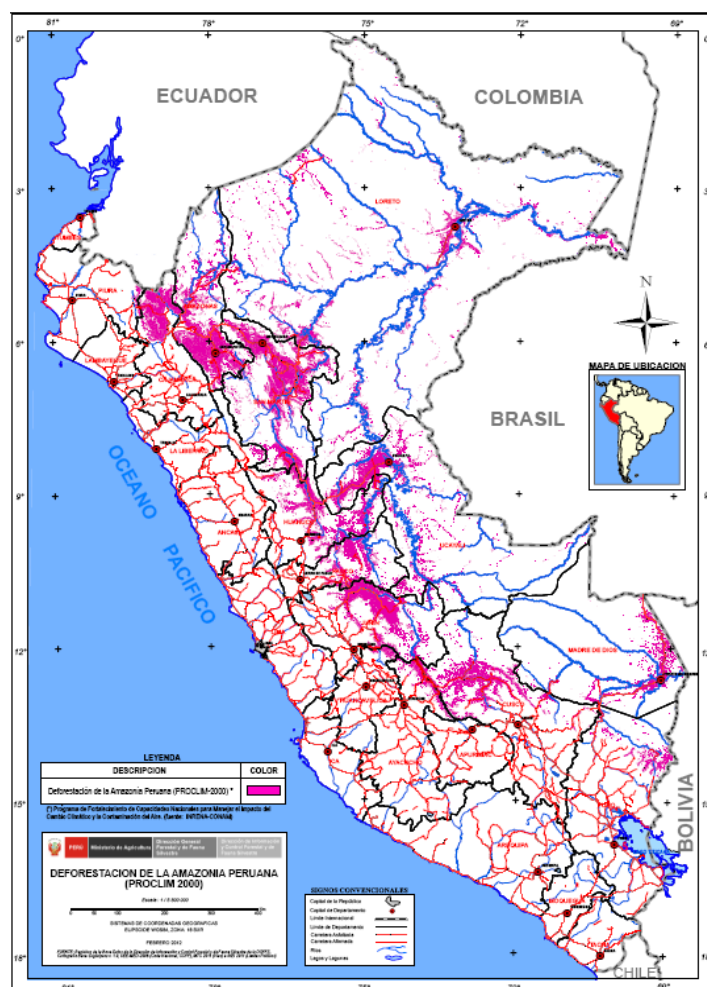


Figura 3-7 Deforestación de la Amazonía Peruana  
Fuente: (MINAG, 2000)

Con referencia al grado de deforestación que experimenta la cuenca del río Marañón, se ha visto que las provincias de Bellavista, Mariscal Cáceres, Picota y Moyobamba son las que han presenta la mayor pérdida de cobertura forestal en los últimos 10 años de acuerdo a los resultados del estudio “Análisis de cambios de cobertura forestal de la Región San Martín de los períodos 2000–2005 y 2005–2010”.

El estudio revela que en la Región San Martín hay una pérdida de bosques para el período del 2000 al 2005 de 114,991 has y para el período del 2005 al 2010 de 117,727 has. En la **Figura 3-8**, se muestra la relación de madera aserrada por especie registrada durante el período 2000 al 2010 (MINAG-DGFFS, 2012).



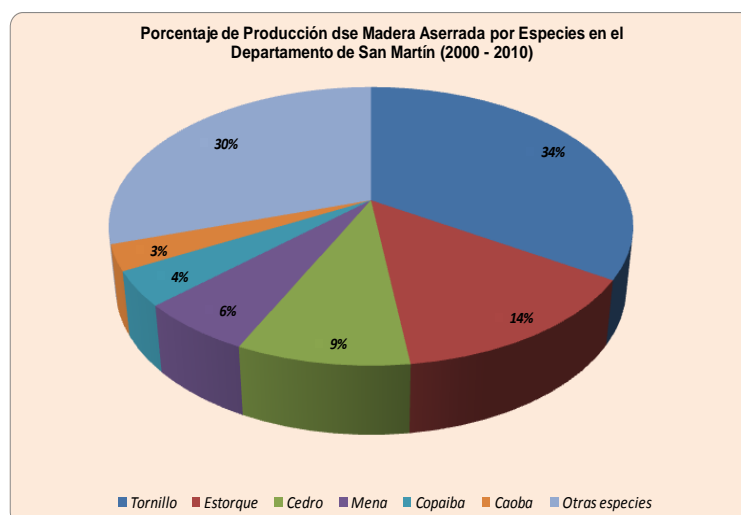


Figura 3-8 Madera aserrada por especie

Fuente: Adaptado por Ordoñez de MINAG-DGFFS, 2012

En la **Tabla 3-5**, se muestran la relación de las regiones que conforman la cuenca del río Marañón, con los niveles de áreas deforestadas, recalándose una vez más, que San Martín es la que registra la mayor superficie con un 18,51%, seguido por Amazonas, Huánuco y Cajamarca respectivamente.

Cuando hacemos referencia a la superficie deforestada, tenemos en cuenta también, a los bosques secundarios con agricultura y bosques secundarios sin agricultura, las áreas sin vegetación, y finalmente los pastos, así como las áreas en proceso de regeneración natural luego de haber sido usadas por la agricultura que regionalmente se conocen como “purmas”.

Tabla 3-5. Regiones con superficies deforestadas

Región	Superficie deforestada (ha)	% del total de superficie deforestada
San Martín	1,327,736,15	18,51
Amazonas	1,001,540,11	13,96
Huánuco	600,654,46	8,37
Cajamarca	520,061,64	7,25

Fuente: (INRENA-PROCLIM, 2005)

En la **Figura 3-9**, presentamos la relación de las regiones con áreas potenciales de reforestación y las reforestadas, cuya distribución es muy desigual, teniéndose a San Martín, Huánuco y Amazonas, con una capacidad media de recuperación de áreas forestales.

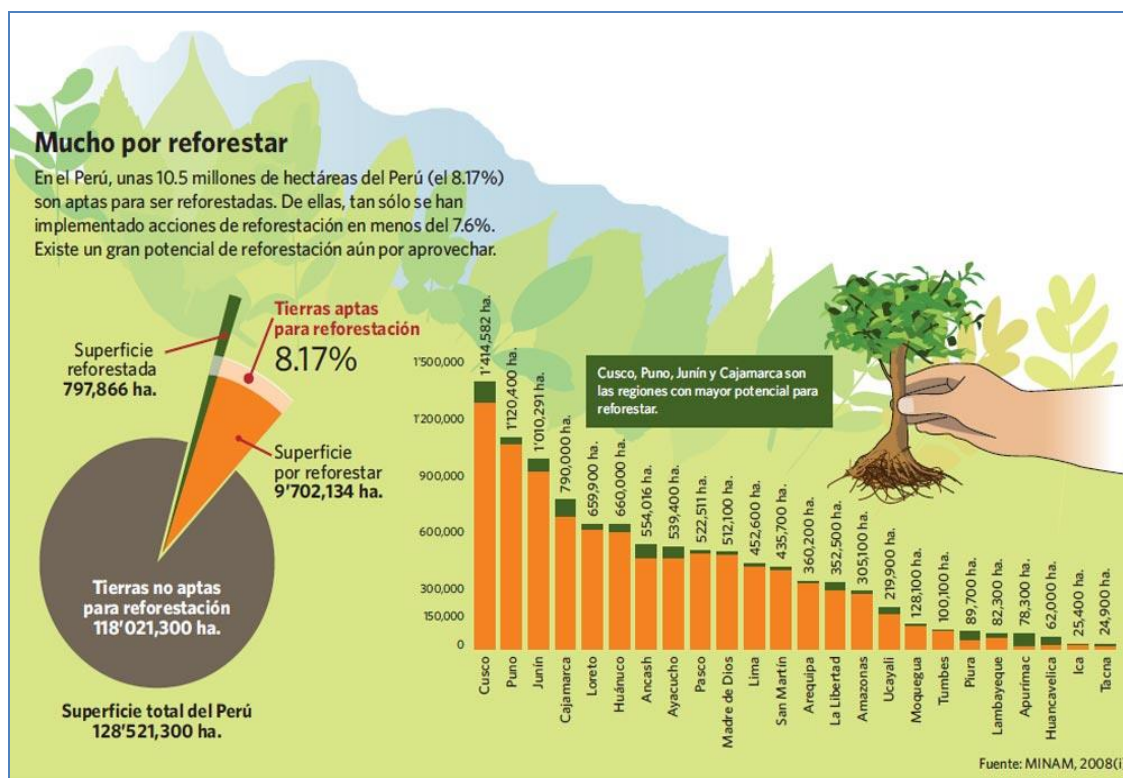


Figura 3-9. Niveles de reforestación a nivel nacional

Fuente: (MINAM, 2008)

### 3.1.4 Sistema Hidrográfico

El río Marañón tiene su origen al Noroeste del Nudo de Pasco, en el flanco septentrional del Nevado de Raura, en la Cordillera de Huayhuash, a más de 5,800 m de altitud recibe en sus orígenes los desagües de las lagunas Niñococha, Santa Ana y Lauricocha, en Huánuco, además de los deshielos del Nevado Matador. De la Laguna Lauricocha sale con el nombre del río Marañón que conserva hasta su desembocadura en el Amazonas, en el departamento de Loreto. La superficie total que abarca es de 347525 km<sup>2</sup>. En territorio peruano es de 297038 km<sup>2</sup> tiene una longitud aproximada de 1800 km.

A continuación se describe los afluentes importantes en el Alto Marañón y Bajo Marañón.

- **Alto Marañón**

Corresponde a la porción del río comprendida entre su nacimiento, en el Nevado de Raura y el Pongo de Manseriche. Este río se caracteriza por presentar un cauce estrecho y profundo, con un declive muy acentuado, y un caudal turbulento, especialmente en época de creciente.

El Alto Marañón es bastante torrencioso, con lecho de arena y piedras y gran número de saltos y pongos que forma el río en su recorrido, lo que hace que el punto máximo de navegabilidad aguas arriba del pongo de Manseriche se efectuó solo hasta la boca del río Chiriaco.

El río Alto Marañón tiene un lecho arenoso y pedregoso; asimismo, presenta riberas altas y bajas, algunas inundables. Los principales afluentes del Alto Marañón son:

○ **Afluentes del Alto Marañón por su margen derecho**

- **Río Imaza**, se origina en las alturas del departamento de Amazonas, en la provincia de Bagua; es navegable por embarcaciones menores con motores fuera de borda en época de creciente y en época de vaciante se navega en canoas. Este río forma un valle interandino, donde se emplaza la Villa de Jumbilla y desagua en el Marañón a la altura de la localidad de Nazareth (**Figura 3-10 a**).
- **Río Nieva**, nace en las alturas del departamento de Amazonas, en la provincia de Bagua, de un pequeño ramal de la cordillera Oriental, anterior a la que forma el pongo de Manseriche, siendo sus principales tributarios los ríos Ampuja o Cristalino y Chiango por la margen izquierda; por la margen derecha tiene numerosas quebradas como Kengueza, Uchichiangos, Gamitamitza y Achiaga (**Figura 3-10 b**).
- **Río Utcubamba**, nace en los cerros de Ulilla, al sureste de la ciudad de Leimebamba, desemboca en el Marañón cerca del inicio del pongo de Retema, tras recorrer unos 250 km. Su valle está urbanizado allí se encuentran las ciudades de Chachapollas, Lamud, Bagua Grande y Bagua Chica.

○ **Afluentes del Alto Marañón por su margen izquierda**

- **Río Chamaya**, se origina en los Andes de Piura, en laguna de Shimbre, con el nombre de Huancabamba. Se llama Chamaya después de recibir las aguas del río Chotano. Desemboca al Marañón cerca al puente Corral Quemado, forma un importante valle agrícola con cultivos de arroz, cacao y frutales.
- **Río Chinchipe**, tiene orígenes en territorio ecuatoriano, se convierte en río limítrofe después de confluir con el río Canchis, luego de recibir las aguas del río San Francisco, el Chinchipe ingresa a territorio peruano, cursa las provincias Cajamarquinas de San Ignacio y Jaén y desemboca en el Marañón al inicio del pongo de Retema. Sus principales afluentes son el río Chirinos y Tabaconas. Desde la desembocadura del Chirinos es navegable en canoas y pequeñas balsas (**Figura 3-10 c**).
- **Río Cenepa**, este río tiene su origen en el flanco oriental de la Cordillera del Cóndor, cuya cumbre sirve como límite natural entre Perú y Ecuador y recorre de Norte a Sur. El río Cenepa se forma de la confluencia de numerosas quebradas que bajan de la cordillera del Cóndor; su ancho varía de 50 a 100 m, y tiene una longitud aproximada de 220 km.
- **Río Santiago**, este río tiene su origen en el Ecuador, en donde toma el nombre de río Zamora. El río Santiago es peruano desde la boca del río Yaupi, desaguando aguas arriba del Pongo de Manseriche, en el río Marañón. El río Santiago se forma de la confluencia de los ríos Zamora y Upano, que nacen en la cordillera de los Andes en la república de Ecuador. Su longitud aproximada es de 260 km en territorio peruano; en

su formación el río tiene un ancho de 35 m y su desembocadura alcanza los 300 m (**Figura 3-10 d**).



Figura 3-10. a) Río Imaza, b) Río Nieva, c) Río Chinchipe y d) Río Santiago

Fuente: [www.per.gob.pe](http://www.per.gob.pe)

- **Bajo Marañón**

Está comprendida entre el Pongo de Manseriche y el punto de su confluencia con el río Ucayali, para formar el Amazonas. El Bajo Marañón tiene un curso orientado de Oeste a Este, a través de la Llanura Amazónica, presentando un cauce meándrico, carente de rocas y cubierto de arena. Durante la época de creciente, la cual se inicia en Noviembre, inunda extensas áreas de la Selva Baja, abandona con frecuencia su antiguo cauce, abriendo otro nuevo. Tiene abundante caudal, lo que garantiza la navegación en el transcurso del año. Los principales afluentes en el Bajo Marañón son:

- **Afluentes del Bajo Marañón por su margen derecha**
  - **Río Sarameriza**, nace de pequeñas quebradas y es navegable por embarcaciones pequeñas en época de creciente. Del centro poblado Sarameriza nace la carretera a Olmos y a puerto Bayóvar en el departamento de Piura, en la costa del país juntamente con el Oleoducto Nor Peruano (**Figura 3-11 a**).



- **Río Apaga**, su nacimiento se origina en la confluencia de los ríos Yurac Apaga y Yana Apaga, desemboca en el río Marañón 8045 m aguas debajo de puerto Limón. Este río es estrecho con vueltas forzadas, Quirumas y palos; es navegable por motores fuera de borda y su recorrido se realiza en 15 días por canoas.
- **Río Potro**, nace de quebradas y presenta en su desembocadura un ancho aproximado de 60 m, sus primeras vertientes se encuentran en la falda oriental de los cerros que rompe el río Marañón. Es navegable por embarcaciones de hasta 1,2 m de calado todo el año hasta Aichiyacu (17 km), mientras que el tramo restante en época de vaciante se puede navegar con botes motor y canoas surcándolo hasta en 10 días.
- **Río Cahuapanas**, tiene sus nacientes en las vertientes de los cerros Pucayacu, sector oriental del ramal de la cordillera que rompe el río Marañón formando el pongo de Manseriche. Este río tiene un ancho aproximado de 60 m en la boca y es navegable por embarcaciones menores.
- **Río Huallaga**, es uno de los grandes ríos del sistema hidrográfico del Amazonas en territorio peruano, forma parte de la cuenca del río Marañón, presenta una área de drenaje de 70 000 km<sup>2</sup> hasta la estación Chazuta. El río Huallaga (**Figura 3-11 b**) es el principal afluente del río Marañón por su margen derecha, tiene sus nacientes en el departamento de Pasco, al sur de la cordillera de Raura, en la laguna Huascacocha a 4710 msnm, con una longitud aproximada de 1389 km. Sus aguas desembocan en el Marañón, atraviesan los departamentos de Pasco, Huánuco, San Martín y Loreto



Figura 3-11. a) Río Sarameriza y b) Río Huallaga

Fuente: [www.inforegion.pe](http://www.inforegion.pe)

Los principales afluentes del río Huallaga son:

- Por su margen derecha:
  - **Río Aucayacu**, desemboca en la población del mismo nombre, la ocupación de su valle se inició con la construcción de la carretera Marginal.
  - **Río Biavo**, recorre paralelo al Huallaga, hace un recorrido de 200 km en el departamento de San Martín, forma en su curso superior un valle estrecho

con laderas de pendientes pronunciadas, en su curso medio y bajo, su valle se amplía y el lecho forma meandros, cuando cruza la llanura aluvial que forma en su desembocadura.

- **Río Tulumayo**, desemboca en el Huallaga al norte de Tingo María (Dpto. Huánuco). En su valle medio y superior se cultivan té, café y coca; en su curso bajo, plátano, yuca, papaya y cítricos.
- **Río Uchiza**, En sus orillas está el centro urbano Nuevo Progreso, en el límite entre los departamentos de San Martín y Huánuco. Sus aguas son salobres porque en su curso existen minas de sal erosionadas por las aguas.

■ Por la margen izquierda:

- **Río Monzón**, Tiene sus orígenes en la Huamalies (Huánuco), sus principales afluentes son los ríos Patay Rondos, Sobreviela y Camote. El río Monzón vierte sus aguas al Huallaga en la ciudad de Tingo María, y es navegable en pequeñas embarcaciones desde la ciudad de Monzón (**Foto 3.3a**).
- **Río Chontayacu**, sus nacientes están cerca de las aguas del Raura. El principal cultivo del valle es la coca, desemboca al sur del centro poblado Puerto Huicte.
- **Río Tocache**, desemboca al norte de la ciudad del mismo nombre.
- **Río Huayabamba**, importante afluente en su curso medio, se origina en los Andes orientales (Amazonas) con el nombre de río Huambo, por su curso por el departamento de San Martín recibe las aguas del río Jelache y se denomina Huayabamba hasta su desembocadura en la ciudad de Juanjui.
- **Río Sisa**, forma uno de los valles más extensos y productivos de la cuenca media del Huallaga, y tiene sus nacientes en la ceja de selva, al sur del Moyobamba (San Martín)
- **Río Mayo**, sus nacientes se ubican en el límite de los departamentos de Amazonas y San Martín, al norte de la provincia de Bongara. En San Martín en su curso superior, forma un importante valle agrario que se denomina Alto Mayo, con área cultivada de café, arroz y frutal. Tiene una longitud aproximada de 230 km y en su curso se emplazan las ciudades de Rioja, Moyobamba y Tarapoto (**Figura 3-12**).

○ **Afluentes del Bajo Marañón por su margen izquierda:**

- **Río Zaragoza**, nace de aguajales y su desembocadura es en Nauta, es navegable por embarcaciones menores.
- **Río Urituyacu**, nace de pequeñas quebradas, luego recibe por la margen derecha al río Pintoyacu y por la margen izquierda a los ríos Yanayacu Chico y Yanayacu Grande. En su desembocadura tiene un ancho de 60 m, es navegable por embarcaciones menores en creciente.





Figura 3-12 a) Río Mayo y b) Río Monzón

Fuente: [www.inforegion.pe](http://www.inforegion.pe)

- **Río Morona**, es afluente del Bajo Marañón; está formado por la confluencia de los ríos Mangosisa y Congaime (Ecuador), cerca de la Guarnición Militar Vargas Guerra (frontera Peruana – Ecuatoriana). El lecho del río es de arena con algunas zonas pedregosas, presentando tramos que varían entre 150 y 80 m, desde la boca hasta su origen y los lugares más estrechos presenta un ancho de 65 m.
- **Río Tigre**, se forma en la confluencia de los ríos Cunambo y Pitnoyacu que tienen sus nacientes en los andes de la república de Ecuador. Su longitud aproxima es de 550 km, su ancho varía desde 80 m en su formación hasta aproximadamente 300 m en su desembocadura (**Figura 3-13 a**).
- **Río Pastaza**, se forma de la confluencia de los ríos Baños y Palera en los andes ecuatorianos y desemboca en la margen izquierda del río Marañón. Este río es íntegramente peruano desde la confluencia con el río Bobonaza, que le da sus aguas por la margen izquierda, hasta su desembocadura en el río Marañón, abarcando una longitud aproximada de 420 km en territorio peruano, desde su formación hasta la confluencia con el río Huasaga, se denomina Alto Pastaza (**Figura 3-13 b**).



Figura 3-13. a) Río Tigre y b) Río Pastaza

Fuente: [www.inforegion.pe](http://www.inforegion.pe)

### 3.1.5 Potencial hidroenergético

La cuenca del río Marañón, presenta un importante potencial hidroenergético, por lo cual se han realizado estudios que han permitido identificar con escaso nivel de detalle; como es el Proyecto Corina, que actualmente se busca desarrollarlo de forma integrada el Proyecto Agro-Energético Marañón. El río Marañón, considerado la “Arteria Energética del Perú” (**Figura 3-14**), es una de las fuentes hídricas más importantes del país, siendo propicio para el desarrollo de proyectos de construcción de centrales hidroeléctricas a lo largo de su recorrido. Así mismo, se presentan propuestas que a través de un sistema de transvases, permitirá irrigar millones de hectáreas agrícolas de la sierra y a la vez ampliar las irrigaciones costeñas de los Proyectos Especiales de Chinecas, Chavimochic, Jequetepeque, Zaña, Olmos y Alto Piura.



Figura 3-14 Ubicación de Centrales Hidroeléctricas a lo largo del río Marañón

Fuente: (MINEM, 2011)

Sobre esta línea, se han realizado una serie de estudios hidroenergéticos, desarrollados durante el período comprendido entre 1973 al 2011, entre el cual tenemos el Atlas del Potencial Hidroeléctrico del Perú, desarrollado por Halcrow Group OIST. Es importante destacar que los proyectos y estudios se encuentran comprendidos dentro del alcance de la Ley de Concesiones Eléctricas que establece dos tipos de concesiones: las temporales para la ejecución de estudios hasta la factibilidad, incluyendo los respectivos estudios de impacto ambiental, y las definitivas para la construcción y operación de las centrales de generación.

En este estudio para la gran cuenca del Marañón se analizan en total 106 proyectos con 479 alternativas. Sin embargo, en la selección de los 10 mejores proyectos de todo el estudio, únicamente se incluyen dos proyectos comprendidos en la gran cuenca del Marañón:

- Proyecto MARA 440, en el río Marañón
- Proyecto HUAL 99, en el río Huallaga

En el caso de los Proyectos de Centrales de Generación del MEMDGE se cuenta con tres documentos: el primero, de abril de 2007; el segundo, de noviembre de 2007, especifica que se trata del Portafolio de Proyectos de Centrales de Generación con potencial de exportación al Brasil; y, el tercero, de setiembre de 2008. Si bien la mayor parte de la información entre ambos documentos es similar, la principal diferencia radica en el portafolio del 2008 donde se incluye un grupo de proyectos con potencial de exportación a otros países.

Con referencia al Potencial Eléctrico del Perú, el objetivo fue realizar una evaluación preliminar del Potencial Eléctrico Teórico del Perú para el rango de 1 a 100 MW. Este estudio fue realizado por contrato de la Dirección General de Electrificación Rural del MEM y el Consorcio Halcrow-OIST. En el estudio se realiza una selección de los proyectos con criterios ambientales para la cuenca del río Marañón (**Tabla 3-6**).

Tabla 3-6 Proyectos identificados en la cuenca del río Marañón

Proyecto	Cuenca	Departamento	Potencial técnico (MW)
CRI28	Crisnejas	Cajamarca	36
CRI30	Crisnejas	Cajamarca	75
CRI27	Crisnejas	Cajamarca	33
MA488	IC Alto Marañón IV		135
Ma5195	IC Alto Marañón V	La Libertad	4
Ma5170	IC Alto Marañón V	La Libertad	72
AHU3	IC Alto Huallaga	Huánuco	92

Fuente: (MINEM, 2011)

Como se ha mostrado en el punto anterior, hay una gran cantidad de proyectos de generación de hidroenergía en la cuenca del Marañón que corresponden a diversos estudios, evaluaciones e iniciativas; sin embargo, es importante diferenciar las etapas de los proyectos (identificados, en evaluación y en ejecución), así como la envergadura de los mismos. Es importante mencionar que algunos proyectos han culminado la etapa de evaluación y han obtenido la concesión definitiva pero hasta el momento no han iniciado la ejecución.

- **Central Hidroeléctrica de Chaglla**

El proyecto se ubica sobre el río Huallaga, aproximadamente 2 km aguas arriba de la quebrada Lluto, en los distritos de Chaglla y Chinchao, provincias de Huánuco y Pachitea, región Huánuco. La construcción de esta central se encuentra en su etapa inicial. Según lo proyectado la obra tomará un tiempo de 57 meses (**Figura 3-15**).



- **Central Hidroeléctrica Naranjos II**

La construcción de la hidroeléctrica de Naranjos II se inició en febrero del 2010 y dispone de un plazo de 20 meses para la puesta en operación. Esta central se ubica en el río Naranjos, en los distritos de Pardo Miguel, en la provincia de Rioja, Región San Martín. Tiene por objetivo suministrar energía al sistema interconectado regional de San Martín. La central hidroeléctrica Naranjos II es una central “de paso” ya que su diseño no considera la construcción de un reservorio.

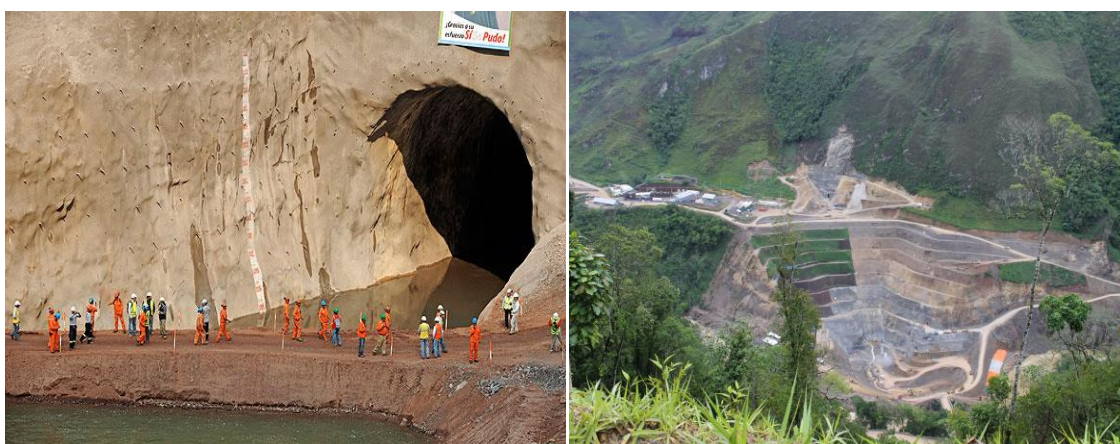


Figura 3-15. Construcción de la Central Hidroeléctrica de Chaglla

Fuente: (info región, 2012)

- **Central Hidroeléctrica Shima**

El 22 de noviembre de 2010 se dio inicio a la construcción de la obra de la central hidroeléctrica Shima. Esta obra contempla la construcción de una central de 5,5 MW y está ubicada en el distrito de Saposoa, provincia de Huallaga, región San Martín. Tiene una inversión estimada de 12'900,000 \$ y será ejecutada por la empresa concesionara ENERGIA HIDRO S.A.C.

- **Central Hidroeléctrica Belo Horizonte**

El proyecto contempla la construcción de una central hidroeléctrica de 180 MW y una línea de transmisión de la sub estación de Belo Horizonte a la sub estación de Tingo María. Este proyecto se ubica en el río Monzón, en los distritos de Monzón y Rupa Rupa, en las provincias de Huamalés y Leoncio Prado, Región Huánuco

- **Central Hidroeléctrica Marañón**

El proyecto contempla la construcción de una central de 96 MW de potencia y tendrá un costo aproximado de \$ 78'000,000. La central estaría ubicada en el distrito de Huamalés, provincia de Dos de Mayo, región Huánuco.

Finalmente, en el caso de proyectos hidroeléctricos mayores a 100 MW se identifican un total de 30 proyectos, de los cuales 01 está en ejecución, 01 estaría por iniciar (ya cuenta con concesión definitiva), 06 están en etapa de evaluación (desarrollo de estudios con concesión temporal) y 22 están en cartera para promocionar el proceso de otorgamiento de concesiones

temporales para estudios. De estos últimos, 19 proyectos están comprendidos en el DS N° 020-2011-EM que los declara de interés nacional.

### 3.2 Datos

El presente Estudio relaciona las variables hidrológicas e hidráulicas generadas en las secciones transversales del río Marañón, que son utilizadas para la realización de los aforos líquidos, realizados en forma periódica en dicha cuenca. La data generada, se agrupa de la manera siguiente:

- **Población**

Toda la información que se genera en la cuenca amazónica peruana, en teminos hidrológicos e hidráulicos, a través de los aforos líquidos, monitoreo y de las estaciones hidrológicas instalada en la cuenca.

- **Muestra**

Está conformada por la información hidrológica e hidráulica, que se genera en la cuenca del río Marañón, siendo el interés principal las estaciones hidrológicas instaladas en la cuenca y donde se generan datos de caudales, velocidades, batimetría de las secciones transversales y sedimentos, para conocer la dinámica fluvial que gobierna la cuenca.

- **Variables Hidroclimáticas**

- **Precipitación**

Obtenida de la red de estaciones que opera el SENAMHI, como referencia para conocer el régimen pluviométrico en la cuenca

- **Caudales**

Obtenida de las campañas de aforo que se han desarrollado desde el 2000, a través del convenio realizado con el proyecto HYBAM – IRD y SENAMHI, durante el período 2002 – 2016.

- **Nivel de agua**

Generada a través de la red hidrométrica que opera el SENAMHI

- **Aforos**

Realizado a través de campañas periódicas, conjuntamente con el proyecto HYBAM – IRD, se realizaron aforos con el apoyo de un ADCP.

- **Sedimentos**

A través de monitoreo de muestras de sedimentos, generadas en cada una de las estaciones de aforos, para su respectivo análisis en laboratorio y conocer el comportamiento de las concentraciones de los materiales en suspensión.

A través de ellas, se busca entender las relaciones funcionales entre los elementos hidrológicos que gobiernan la hidráulica fluvial de los ríos amazónicos peruanos Ver **Tabla 3-7** y **Figura 3-16**.

Tabla 3-7 Red hidrometeorológica básica de la cuenca del río Marañón

Estación	Sub Cuencas	Altitud msnm	Categoría	País
Bartra	Tigre	155	PLU	Perú
Tnte. López	Tigre	241	PLU	Perú
Sgto. Puño	Tigre	200	PLU	Perú
Sgto. Lores	Tigre	111	PLU	Perú
Silvia Merino	Bajo Marañón	107	PLU	Perú
Rita Castilla	Bajo Marañón	100	PLU	Perú
Nauta	Bajo Marañón	137	CO	Perú
Yurimaguas	Huallaga	139	S	Perú
San Ramón	Bajo Huallaga	131	CP	Perú
Shanusi	Bajo Huallaga	147	PLU	Perú
Pelejo	Bajo Huallaga	145	PLU	Perú
Navarro	Bajo Huallaga	145	CO	Perú
Lagunas	Huallaga	119	PLU	Perú
Sta. Cruz	Huallaga	139	PLU	Perú
Imacita	Bajo Marañón	300	CO	Perú
Bagua Chica	Bajo Marañón	410	CO	Perú
Aramango	Alto Marañón	570	PLU	Perú
Borja	Bajo Marañón	152	PLU	Perú
Barranca	Bajo Marañón	150	PLU	Perú
La Casacarilla	Alto Marañón	1908	CO	Perú
Naranjillo	Mayo	900	CO	Perú
Rioja	Mayo	818	CO	Perú
Moyobamba	Huallaga	842	S	Perú
Soritor	Mayo	890	PLU	Perú
Jepelacio	Mayo	1192	PLU	Perú
Pacaysapa	Mayo	924	PLU	Perú
Pongo De Cayniari	Bajo Huallaga	240	CO	Perú
Tabalosos	Mayo	341	CO	Perú
Alao	Huallaga	407	CO	Perú
Lamas	Mayo	747	CO	Perú
Sisa	Huallaga	381	CO	Perú
Tarapoto	Mayo	360	CO	Perú
San Antonio	Mayo	578	PLU	Perú
El Porvenir	Mayo	202	MAP	Perú
Sauce	Alto Huallaga	600	CO	Perú
Chazuta	Bajo Huallaga	170	PLU	Perú
Pilhuana	Alto Huallaga	200	PLU	Perú
Picota	Alto Huallaga	200	PLU	Perú
Tingo De Ponaza	Alto Huallaga	240	CO	Perú
San Pablo	Huallaga	274	CO	Perú



Estación	Sub Cuencas	Altitud msnm	Categoría	País
Saposoa	Huallaga	312	CO	Perú
Bellavista	Alto Huallaga	247	CO	Perú
Sacanche	Saposoa	465	PLU	Perú
La Unión	Biavo	250	CO	Perú
Nuevo Lima	Biavo	200	PLU	Perú
Juanji	Huallaga	275	PLU	Perú
Pachiza	Huallaga	347	CO	Perú
Shepte	Huallaga	850	PLU	Perú
Dos D Mayo (Olaya)	Huallaga	307	PLU	Perú
Celendín	Alto Marañón	3050	CO	Perú
Bildibuyo	Alto Marañón	3150	PLU	Perú
Tayabamba	Alto Marañón	3250	CO	Perú
Sihuas	Alto Marañón	3375	PLU	Perú
Chavín	Alto Marañón	3137	CO	Perú
Yanahuanca	Huallaga	3190	CO	Perú
La Morada	Huallaga	542	CO	Perú
Uchiza	Huallaga	920	CO	Perú
Aucayacú	Huallaga	560	CO	Perú
Aguaytía	Aguaytía	270	CO	Perú
Tulumayo	Huallaga	1000	MAP	Perú
Tingo María	Huallaga	644	S	Perú
Cachicoto	Huallaga	1140	CO	Perú
La Divisoria	Huallaga	1410	CO	Perú
Cajas	Mantaro	1950	CO	Perú
Tocache	Huallaga	528	CO	Perú
Carpish	Huallaga	2125	CO	Perú
Chaglla	Alto Marañón	2850	CO	Perú
Canchan	Huallaga	2550	CO	Perú
Jacas Chico	Huallaga	3673	CO	Perú
Pozuzo	Pachitea	1000	CO	Perú
Huánuco	Huallaga	2090	S	Perú
Ambo Idma	Huallaga	3025	CO	Perú
Huariaca	Huallaga	3355	CO	Perú
Atacocha	Huallaga	4149	CO	Perú
Cerro De Pasco	Mantaro	4260	CO	Perú
San Rafael	Huallaga	3060	CO	Perú
Gualaquiza-Inamhi	Santiago	750	PLU	Perú
Yanatza	Santiago	830	PLU	Perú
Huaysimi	Santiago	950	PLU	Perú
Borja	Marañón	450	HLM	Perú

Fuente: Elaboración propia

La **Figura 3-16** muestra la distribución espacial de las estaciones, no abarcan toda la superficie de la cuenca del río Marañón, dejando muchas zonas sin registrar precipitaciones, lo que no permitiría caracterizar la cuenca del río Marañón de maneja espacial y temporal. Del total de 78 estaciones entre pluviométricas, climatológicas ordinarias y sinópticas, han permitido generar conocimiento sobre la variabilidad del régimen de precipitaciones.

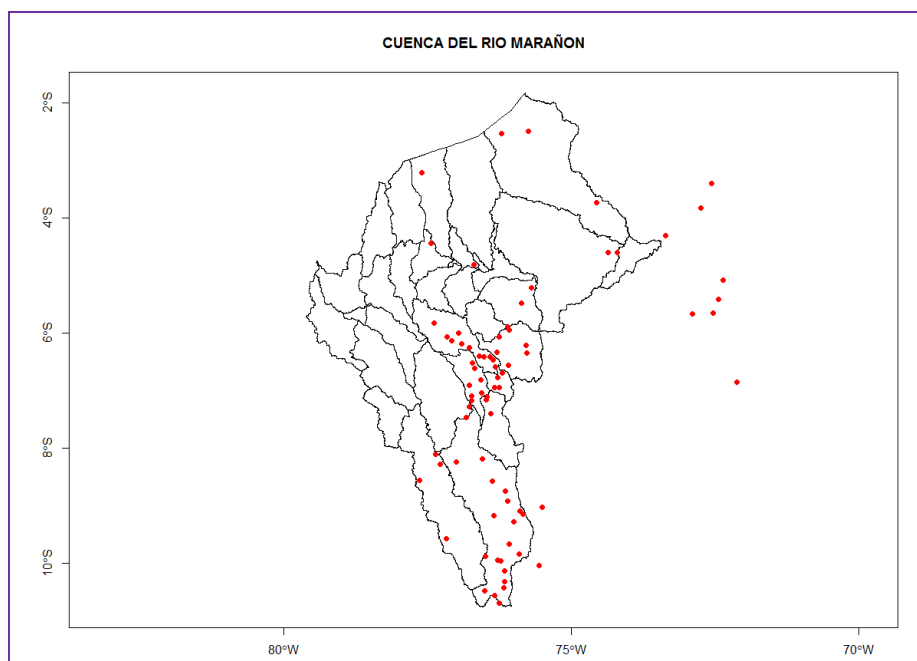


Figura 3-16 Distribución espacial de la red observacional seleccionada

Fuente. Elaboración propia

En la cuenca del río Marañón, se cuenta con un total de 19 estaciones hidrológicas, las cuales son operadas por diferentes instituciones, entre las cuales tenemos al SENAMHI con (11), IRD-HYBAM (3), ANA(INRENA) (1), PETROPERU (1), ANC (1) y ENP (1), tal como apreciamos en las **Tablas 3-8 y Figura 3-17**. Es importante indicar que la totalidad de estaciones, únicamente registran valores de altura de nivel de agua del río.

Tabla 3-8 Relación de estaciones hidrológica en la cuenca del río Marañón

Orden	Estación	Ríos	Operador	Latitud (grados)	Longitud (grados)	Altitud (msnm)
1	Las Balsas	Marañón	SENAMHI - Perú	-6.84	-78.03	850
2	Pte. Corral Quemado	Marañón	INRENA	-5.76	-78.69	421
3	Soloco	Río Soloco	IRD - HYBAM	-6.26	-77.74	2325
4	Sta. María de Nieva	Nieva	--	-4.60	-77.87	230
5	Santiago	Santiago	IRD - HYBAM	-3.05	-78.01	320
6	Pinglo	Santiago	SENAMHI - Perú	-4.41	-77.65	184
7	Borja	Marañón	SENAMHI - Perú	-4.47	-77.55	200
8	San Lorenzo	Marañón	SENAMHI - Perú	-5.92	-76.17	490

Orden	Estación	Ríos	Operador	Latitud (grados)	Longitud (grados)	Altitud (msnm)
9	Andoas	Pastaza	PETRO PERÚ	-2.81	-76.45	210
10	Tingo María	Huallaga	SENAMHI - Perú	-9.30	-76.03	691
11	Puente Tocache	Huallaga	SENAMHI - Perú	-8.14	-76.51	470
12	Campanilla	Huallaga	ANC	-7.52	-76.70	410
13	Picota	Huallaga	SENAMHI - Perú	-6.92	-76.32	220
14	Chazuta	Huallaga	SENAMHI - Perú	-6.57	-76.12	179
15	Yurimaguas	Huallaga	ENP	-5.90	-76.10	104
16	Trompeteros	Corrientes	SENAMHI - Perú	-3.48	-75.03	142
17	Nueva York	Tigre	IRD - HYBAM	-4.32	-74.29	89
18	San Regis	Marañón	SENAMHI - Perú	-4.51	-73.95	83
19	Nauta	Marañón	SENAMHI - Perú	-4.50	-73.56	135

Fuente. Elaboración propia

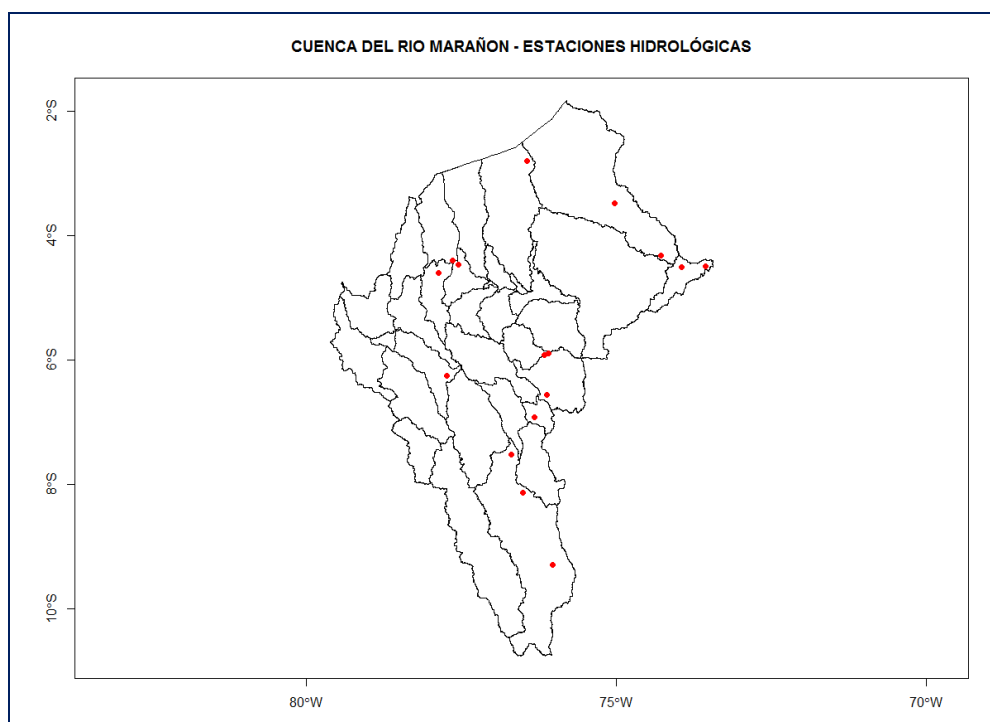


Figura 3-17 Ubicación de la red observacional hidrológica en la cuenca del río Marañón

Fuente. Elaboración propia

### 3.2.1 Estaciones de Aforo

De la red de estaciones hidrológicas, se han priorizado algunas estaciones y puntos de control para el desarrollo de campañas de aforo, los cuales se dieron desde el 2003 al 2015, en forma periódica, generándose información hidrométrica de los principales ríos que conforman la red hidrográfica del río Marañón.

En la **Tabla 3-9**, se muestran aquellas estaciones que cuentan con información de aforo; habiendo alcanzado durante el período del 2003 – 2015, un total acumulado de 2136, generándose en cada uno de ellos la batimetría de las secciones de aforo, así como datos de velocidad del agua y caudal.

Tabla 3-9 Relación de estaciones de control de aforo

Número	Estación	Ríos	Número de Aforos	Período		Altitud (msnm)
				Inicio	Fin	
1	Tingo María	Huallaga	15	2010	2010	691
2	Santiago	Santiago	120	2003	2006	320
3	Sta. María de Nieva	Nieva	30	2003	2015	230
4	Picota	Huallaga	90	2003	2012	220
5	Borja	Marañón	480	2003	2015	200
6	Chazuta	Huallaga	420	2003	2015	179
7	Nauta	Marañón	91	2001	2013	135
8	Yurimaguas	Huallaga	30	2010	2010	104
9	Nueva York	Tigre	110	2006	2009	89
10	San Regis	Marañón	750	2003	2015	83
Total			2136	2003	2015	

Fuente. Elaboración propia

La distribución de los aforos, se visualiza en la **Figura 3-18**, donde claramente se identifican las estaciones donde se registraron los mayores aforos como el caso de San Regis (750) y Borja (480); mientras que las estaciones de Santa María de Nieva, Yurimaguas y Tingo María fueron las que presentaron los mínimos aforos (30, 30 y 15) respectivamente.

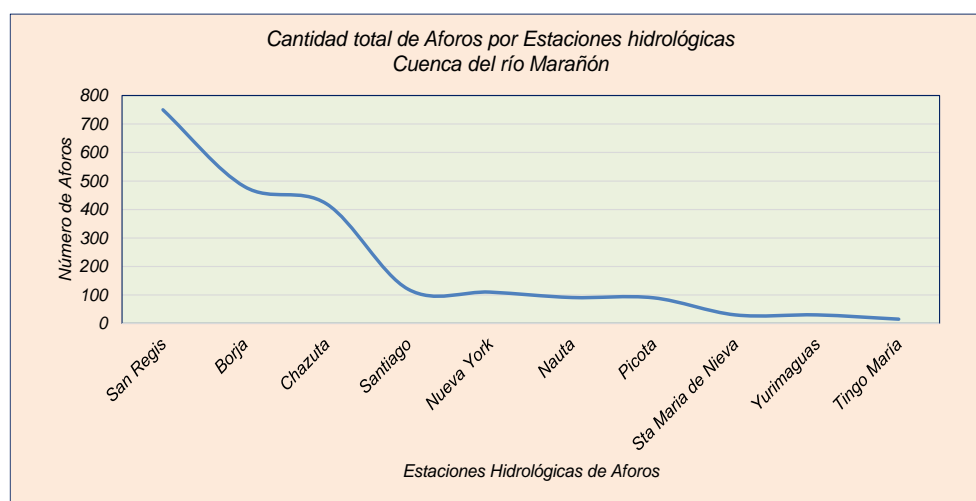


Figura 3-18 Cantidad total de Aforos por estaciones Hidrológicas

Fuente. Elaboración propia

### 3.2.2 Equipos ADCP

- **ADCP Río Grande 600 kHz + GPS**

A través de los cuales se generaron información básica que permite caracterizar la sección hidráulica transversal de la estación de aforo. En cada uno de ellos el proceso requirió de una repetición continua del aforo (como mínimo 5 pasadas de una margen a otras) obteniéndose para cada recorrido los datos correspondientes a:

- Batimetría,
  - Distancias horizontales que nos permite conocer el ancho del río,
  - Profundidades verticales, que nos permite conocer la variabilidad la variabilidad del lecho del río.
- Velocidad de la corriente,
  - A través de los sensores del equipo, estos nos permite determinar la velocidad de la corriente; a través de las partículas sedimentarias en suspensión son transportadas por el flujo de agua,
  - Perfil de la velocidad integrada de la sección transversal del río.
- Velocidad y Dirección de desplazamiento del bote,
- Caudal del río,
- Coordenadas geográficas del punto de aforo,



Figura 3-19 Vista de las componentes del ADCP y su instalación para realizar los aforos  
Fuente. SENAMH, 2008

Una vez terminado el aforo, el equipo nos brinda una información sobre la batimetría y la distribución de la velocidad de la corriente, a través de toda la sección transversal, tal como se aprecia en la **Figura 3-20**.

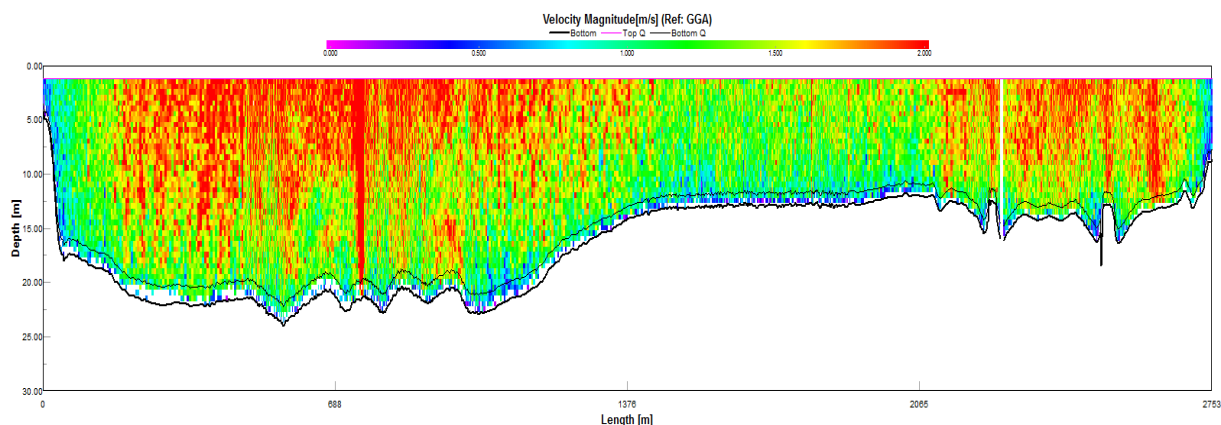


Figura 3-20. Distribución de la magnitud de velocidad (m/s) del río Amazonas

Fuente: IRD, 2006

Conjuntamente con la figura anterior, el sistema también nos permite apreciar cómo va variando la dirección y velocidad del bote a media que va realizando el transecto desde una margen hacia la otra. De no mantenerse la linealidad en el proceso de aforo, podría estar alternados de alguna manera los resultados generando discrepancias en las secciones de aforo a través de su sobre evaluación o sub evaluación, de los volúmenes de agua y de los parámetros hidráulicos, como puede apreciar en la **Figura 3-21**.

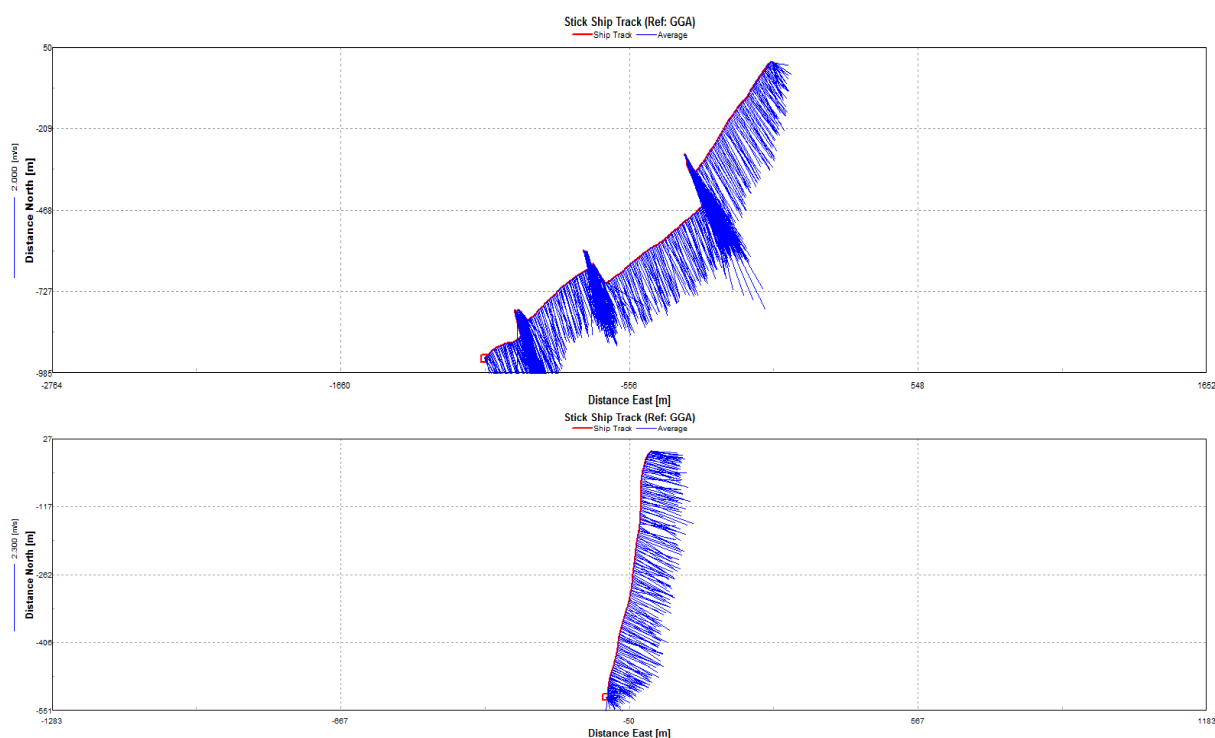


Figura 3-21. Dirección y magnitud de la velocidad del bote a través del aforo

Fuente: IRD, 2006

El cambio de la sección de aforo, también puede llevar a error a la hora de regionalizar los parámetros hidráulicos de los puntos de aforo y el no contar con un BM absoluto. En la **Figura 3-22**, se muestra las ventanas de navegación, donde se visualiza la velocidad del río y del bote, tiempo transcurrido del aforo y la ventana de los caudales parciales y el total.



Navigation Tabular			Discharge Standard Tabular		
Navigation (GGA)			Discharge (GGA) Left to Right		
Boat Speed	1.365	[m/s]	Good Bins	13	
Boat Course	241.80	[°]	Top Q	2833.601	[m³/s]
Water Speed	0.482	[m/s]	Measured Q	29305.720	[m³/s]
Water Dir.	149.97	[°]	Bottom Q	2268.572	[m³/s]
Calc. Depth	8.62	[m]	Left Q	5.505	[m³/s]
Length	2752.87	[m]	Right Q	15.883	[m³/s]
Distance MG	1455.12	[m]	Total Q	34429.281	[m³/s]
Course MG	229.85	[°]			
Time	1840.19	[s]			
GPS Position					
Latitude	-4° 07.7220'				
Longitude	-70° 02.7746'				

Figura 3-22 Ventas de navegación y Caudal

Fuente. IRD, 2006

### 3.3 Métodos

La presente propuesta de investigación, está enmarcado en el nivel de conocimiento científico, a través de la observación, descripción y explicación de los procesos que originan las fases de erosión y sedimentación en los ríos amazónicos, caso concreto del río Marañón.

De acuerdo a lo expresado en el párrafo anterior, el tipo de estudio que sustenta la presente investigación es **descriptivo**, ya que se busca analizar los eventos de erosión y sedimentación en el río Marañón, para lo cual se cuenta con información generada a través de las campañas de aforo desarrolladas en la cuenca amazónica peruana (Vázquez, 2005).

Además, se considera dentro de la investigación un tipo de **estudio correlacionales**, ya que se buscará visualizar como se relaciona o vincula diversos parámetros hidráulicos con el fin de conocer cómo se comporta una de ellas en relación a otras variables (Vázquez, 2005).

#### 3.3.1 Diseño de investigación

Sabemos que la precisión, la profundidad así como también el éxito de los resultados de la investigación dependen de la elección adecuada del diseño de investigación; entre los cuales tenemos:

- Diseño experimental, que se desarrollan en laboratorio
- Diseño no experimental, que se basan en la temporalización de la investigación, dentro de los cuales tenemos:
  - Método transversal, trabaja con datos de un solo momento y en un tiempo único
  - Método longitudinal, trabajo con datos que recolecta a través del tiempo, en puntos o períodos específicos, para hacer inferencias con respecto al cambio.

En base a lo descrito en los párrafos anteriores, de este punto, podemos decir que nuestra investigación es de tipo **no experimental** y de una **temporalización longitudinal**.

### 3.3.2 Hipótesis

- Hipótesis General
  - Las características de la hidráulica fluvial del río Marañón, no influye en su comportamiento.
- Hipótesis Específicas
  - Las secciones transversales analizadas, presentan un comportamiento uniforme en la distribución de velocidades
  - El cauce del río Marañón no experimenta cambios significativos en sus secciones transversales.
  - El río Marañón, no experimenta procesos de erosión y sedimentación en su cauce.

### 3.3.3 Identificación de variables

- Operacionalización de variables

La **Tabla 3-10** muestra la identificación de los tipos variables así como cada una de sus definiciones e indicadores funcionales para su seguimiento y validación.

Tabla 3-10 Definición conceptual de las variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
<b>VI:</b>  Hidrología del río Marañón	Conocer el comportamiento hidrológico del río Marañón	Se realizaran aforos líquidos y sólidos, con equipamiento especializado para conocer el comportamiento del río	Volumen de agua  Sección transversal  Flujo de corriente de agua	Caudal  Área Perímetro Radio hidra.  Velocidad	Razón  Razón  Razón
<b>VD:</b>  Hidráulica Fluvial del río Marañón	Conocer los cambios hidrogeomorfológicos de la hidráulica fluvial del río Marañón	Analizaremos los aforos para determinar los patrones de comportamiento de la velocidad del agua y la variabilidad de la sección transversal	Distribución de velocidad  Cambio de área de la sección transversal  Erosión sedimentación	Perfil de velocidad  Cambio de área  Caudal solido	Razón  Razón  Razón

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.4 Población, muestra y muestreo

Uno de los puntos críticos en toda investigación, es primeramente definir e identificar cual es la población, cual es la muestra y como determinar los criterios que serán usados la su adecuada selección.

#### - Población

Es el conjunto de datos del cual se desea desarrollar su caracterización espacial o temporal. "El universo o población puede estar constituido por personas, animales, registros médicos, los nacimientos, las muestras de laboratorio, los accidentes viales entre otros". (Pineda et al 1994:108) En nuestro campo son datos de caudal del río, velocidad de la corriente, profundidad de la sección, área de la sección, perímetro mojado de la sección, radio hidráulico.

Tabla 3-11 Definición conceptual de las variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
<b>VI:</b>  Hidrología del río Marañón	Conocer el comportamiento hidrológico del río Marañón	Se realizaran aforos líquidos y sólidos, con equipamiento especializado para conocer el comportamiento del río	Volumen de agua  Sección transversal  Flujo de corriente de agua	Caudal  Área Perímetro Radio hidra  Velocidad	Razón  Razón  Razón
<b>VD:</b>  Hidráulica Fluvial del río Marañón	Conocer los cambios hidrogeomorfológicos de la hidráulica fluvial del río Marañón	Analizaremos los aforos para determinar los patrones de comportamiento de la velocidad del agua y la variabilidad de la sección transversal	Distribución de velocidad  Cambio de área de la sección transversal  Erosión sedimentación	Perfil de velocidad  Cambio de área  Caudal solido	Razón  Razón  Razón

Fuente: Elaboración propia

Es importante aclarar, que la población es la cuenca amazónica peruana.

#### - Muestra

Es un subconjunto o parte del universo o población en que se llevará a cabo la investigación. Para nuestro caso, estará definida con los valores generados a través de las campañas de aforo en cada una de las secciones de aforo del río Marañón y que permite obtener los valores de profundidad, caudal y velocidad.

#### - Muestreo

Es el método utilizado para seleccionar a los componentes de la muestra del total de la población. "Consiste en un conjunto de reglas, procedimientos y criterios mediante los cuales se selecciona un conjunto de elementos de una población que representan lo que sucede en toda esa población" (Mata et al, 1997:19).

Para nuestro caso, se tendrá en consideración los aspectos técnicos en la generación de los datos hidráulicos de cada una de las secciones, para luego seleccionar de ellos aquellos que podrán explicar los procesos de regionalización de los parámetros de la hidráulica fluvial del río.

### 3.3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### - Técnica

Las técnicas de investigación, son procedimientos e instrumentos que se utilizan para acceder y generar información sobre una situación existente, como entrevistas, cuestionarios, inspecciones de registros y observaciones; generándose el conocimiento (Custodio, 2008).

Para nuestro caso, en la **Tabla 3-12**, se muestran las técnicas a utilizarse en la presente investigación.

Tabla 3-12 Técnicas e instrumentos de investigación seleccionadas

Técnicas	Instrumentos
Observaciones	Fichas de recopilación de datos
Experimental	Equipos de medición de aforo
Mediciones convencionales	Unidades de medida
Bibliografía	Fichas

Fuente: (López, 2011)

#### - Instrumento

Un instrumento de investigación es un soporte por el cual recojo la información necesaria relacionada con las variables del estudio. Con relación a la recogida de datos, habrá que responder a las siguientes preguntas: ¿qué datos?, ¿cuándo se recogen?, ¿dónde?, ¿con qué frecuencia?, ¿quién los recoge?, ¿cómo se recoge? (Marí, Olivera, 2016).

#### - Validación

En términos generales, se refiere al grado en que el instrumento realmente mide la variable que medimos. Además, Tejada (1995) expresa que "...el grado de precisión con el instrumental utilizado mide realmente lo que está destinado a medir" (p. 26).

Para nuestro caso, consideraremos la **validez de constructo**, que se refiere a qué tan exitosamente un instrumento representa y mide un concepto teórico.

- Fiabilidad

Se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo sujeto u objeto, produce iguales resultados, dependiendo básicamente de su nivel de calibración y sensibilidad (López, 2011).

Para nuestro caso hemos considerado que los equipos (ADCP) utilizados para la generación de la data en campo cuentan con sus **certificados de calibración y sensibilidad**.

### 3.3.6 Análisis estadístico

Consiste en la realización de las operaciones a las que el investigador someterá los datos con la finalidad de alcanzar los objetivos del estudio. Todas estas operaciones no pueden definirse de antemano de manera rígida. La recolección de datos y ciertos análisis preliminares pueden revelar problemas y dificultades que des actualizarán la planificación inicial del análisis de los datos (CCEE, 2016).

Existen dos tipos de técnicas de análisis de datos:

- Técnicas cualitativas: en la cual los datos son presentados de manera verbal o gráficas, como los textos de entrevistas, las notas, los documentos, etc.
- Técnicas cuantitativas: donde los datos se presentan en forma numérica.

Para nuestro caso utilizaremos la **técnica cuantitativa** que pueden ser: Análisis descriptivos y **Análisis ligados a la hipótesis**.

Para nuestro caso específico, recurriremos a los análisis descriptivos de cada una de las variables seleccionadas, para conocer su comportamiento, variabilidad y tendencia, con los cual podremos generar su caracterización espacial y temporal y definir niveles de tendencias o escenarios.

#### 3.3.6.1 Análisis exploratorio de los datos

Para (Salvador, Figueras, M. y Gargallo, P., 2013), la finalidad del Análisis Exploratorio de Datos (AED) es examinar los datos previamente a la aplicación de cualquier técnica estadística. De esta forma el analista consigue un entendimiento básico de sus datos y de las relaciones existentes entre las variables analizadas.

El AED proporciona métodos sencillos para organizar y preparar los datos, detectar fallos en el diseño y recogida de datos, tratamiento y evaluación de datos ausentes, identificación de casos atípicos y comprobación de los supuestos subyacentes en la mayor parte de las técnicas multivariantes. Describe, analiza y representa un grupo de datos utilizando métodos numéricos y gráficos que resumen y presentan la información contenida en ellos.

Aquí tendremos en consideración los aspectos siguientes:

#### Tipos de Variables

- Precipitación
- Nivel de agua
- Sedimentos
- Caudal
- Aforos
- Velocidad

#### Métodos gráficos y numéricos para describir variables cuantitativas

- Tablas de distribución de frecuencias.
- Gráficos para variables cuantitativas: Sectorial y de Barras.

#### Métodos gráficos para describir variables cuantitativas

- Histograma
- Dispersión
- Linealidad

#### Métodos numéricos para describir variables cuantitativas

- Medidas de Tendencia Central: Promedio, Mediana, Moda.
- Medidas de Dispersión: Rango, Desviación Estándar.
- Medidas de Posición Relativa.

#### 3.3.6.2 Curva regional

Para Roseann Ruth (2010), en su investigación titulada Hydraulic geometry relationships and regional curves for the inner and outer bluegrass regions of kentucky, manifiesta que las diferencias fisiográficas en las relaciones de la geometría hidráulica, Dunne y Leopold (1978) fueron los primeros en desarrollarlos a nivel regional. Aunque los trabajos originales en geometría hidráulica desarrollados principalmente utilizando datos de los Estados Unidos occidentales se consideraron de naturaleza universal (Leopold y Maddock, 1953), los estudios han demostrado que sólo son útiles cuando se utilizan en corrientes que comparten características fisiográficas como hidrología, suelos y extensión del desarrollo (Rosgen, 1996; Keaton et al., 2005). Stall y Fok (1968) y Stall y Yang (1970) encontraron que las características fisiográficas de una cuenca influyeron en los coeficientes de las funciones de poder (Singh, 2003).

Esto se observa al comparar curvas urbanas y rurales; se observan coeficientes más altos en las curvas urbanas (Harman et al., 1999, Doll et al., 2003). Lane y Foster (1980) estudiaron los efectos del cambio en el uso de la tierra en la morfología del arroyo. Encontraron que el ancho del canal aumentaba a medida que la descarga aumentaba, y un mayor estrés crítico causaba una corriente más estrecha. Llegaron a la conclusión de que los cambios en el uso de la tierra eran la causa de las características del cauce (Lane y Foster, 1980; Singh, 2003).



### 3.3.6.3 Análisis de regresión

Según (Acuña, 2008), regresión es el conjunto de técnicas que son usadas para establecer una relación entre una variable cuantitativa llamada variable dependiente y una o más variables independientes, llamadas predictoras. Estas deben ser por lo general cuantitativas; sin embargo, usar predictoras que son cualitativas es permisible.

Un modelo de regresión, es una ecuación que representa la relación entre las variables. Para estimar dicha ecuación, el modelo debe tener una muestra de entrenamiento (**Figura 3-23**).

La aplicación de esta técnica estadística, permitirá ser utilizada en temas de: Predicción, descripción, control y selección de variables. Los modelos de regresión más utilizados es el lineal simple, cuya expresión algebraica es la siguiente (Acuña, 2008):

$$Y = \alpha + \beta * X + \varepsilon \quad (5)$$

Donde:

- B : La pendiente, indica el cambio promedio en la variable de respuesta cuando la variable predictora aumenta en una unidad adicional.
- $\alpha$  : El intercepto, indica el valor promedio de la variable de respuesta cuando la variable predictora vale 0. Sin embargo, carece de interpretación práctica si es irrazonable considerar que el rango de valores de x incluye a cero.
- $R^2$  : Es el coeficiente de determinación, que expresa una medida de la bondad de ajuste del modelo. Cuando el valor de  $R^2$ , es mayor o igual a 75% podemos considerar bastante aceptable la relación matemática entre las variables analizadas.

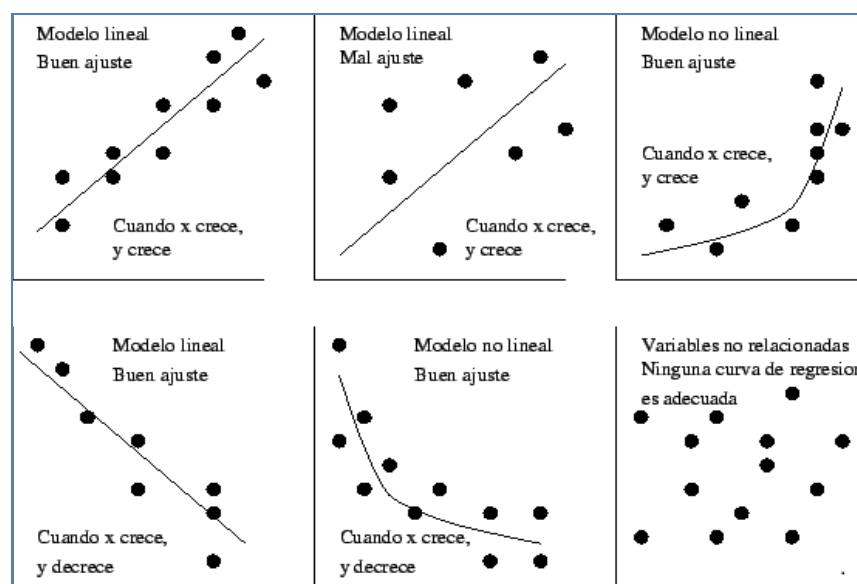


Figura 3-23. Tipos de distribución para análisis de regresión

Fuente: López, C., Oscar N., 2016

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} * 100\% \quad (6)$$

$\rho$  : Mide el grado de asociación lineal entre las variables X e Y, y se define como:

$$\rho = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (7)$$

Donde:

$$-1 \leq \rho \leq 1$$

La media condicional de Y dado X es

$$E\left(\frac{Y}{X}\right) = \alpha + \beta * x \quad (8)$$

Dónde:

$$\beta = \rho * \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \quad (9)$$

$$\alpha = \mu_y - \beta * \mu_x \quad (10)$$

La varianza condicional de las Y dado X, está dado por:

$$\sigma_{y/x}^2 = \sigma_y^2 * (1 - \rho^2) \quad (11)$$

Si:  $\rho = \pm 1$  entonces

$$\sigma_{y/x}^2 = 0 \quad \text{Perfecta relación lineal}$$

Considerando una muestra de n pares (Xi, Yi), tenemos:

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} * S_{yy}}} \quad (12)$$

$$r^2 = \frac{SSR}{SST} \quad (13)$$

Por lo tanto, el cuadrado del coeficiente de correlación es igual al coeficiente de determinación.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Variabilidad espacial de la precipitación en la cuenca Marañón

La precipitación durante el período comprendido entre setiembre a marzo, se concentran en la parte alta de la subcuenca del río Huallaga; mientras que en las subcuencas de los ríos Santiago, Tigre, Corriente y Pastaza, los aporte de precipitaciones significativas se concentra durante el periodo comprendido entre enero – abril, alimentados a los tributarios de la margen izquierda del río Mantaro.

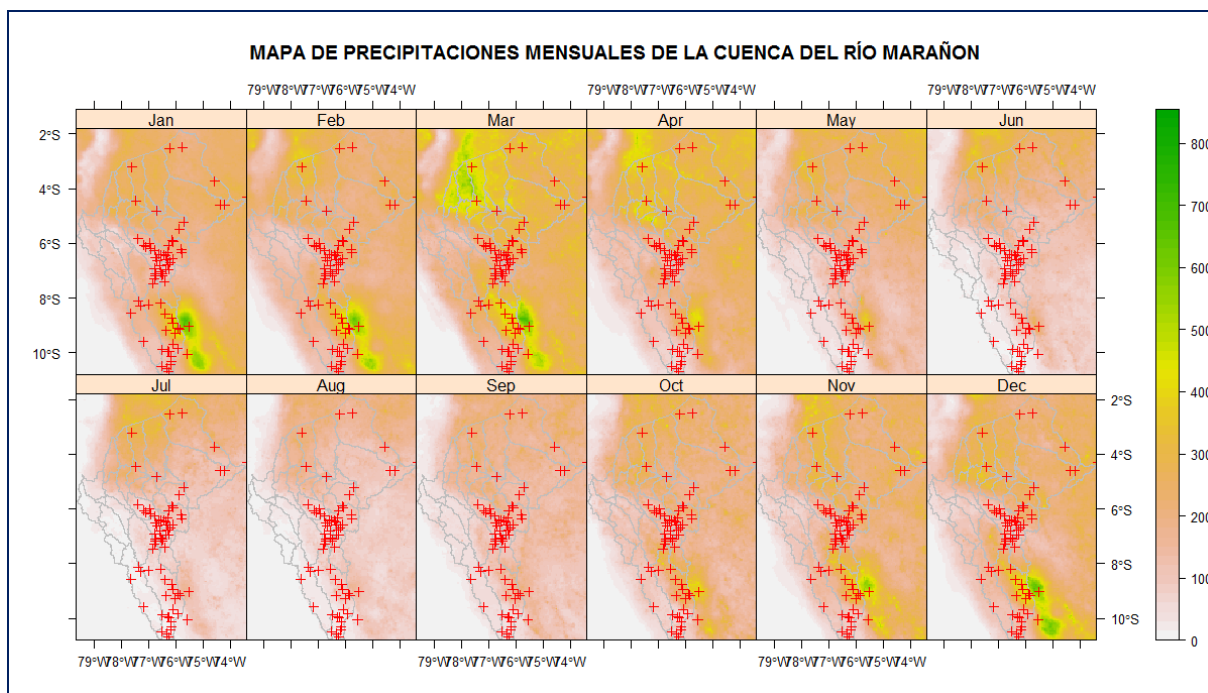


Figura 4-1 Comportamiento pluviométrico mensual para la cuenca del río Marañón

Fuente. Elaboración propia

### 4.2 Variabilidad espacial de la red hidrométrica

La **Figura 4-2**, muestra la variabilidad altitudinal y espacial de la ubicación de la red observacional hidrológica en cuenca del río Marañón y en la subcuenca del río Huallaga, las cuales están distribuidas de la manera siguiente:

- Cuenca del río Marañón : rango altitudinal de 900 msnm a 200 msnm
- Subcuenca del río Huallaga : rango altitudinal de 700 msnm a 80 msnm

Las estaciones de Balsas y Tingo María, con las de mayor altitud; mientras que las estaciones de Andoas y San Regis son las que se ubican a menores altitudes.

Dicha red observacional ha sido caracterizada en función a su longitud y latitud, obteniéndose para cada uno de los caso la **Figura 4-3**, donde se aprecia claramente cómo queda representada la distribución espacial de las mismas dentro del espacio delimitado por la cuenca del río Marañón.

Dicha red, viene hacer complementaria ya que permite evaluar la disponibilidad hídrica natural que se genera, sobre la base del ciclo hidrológico.

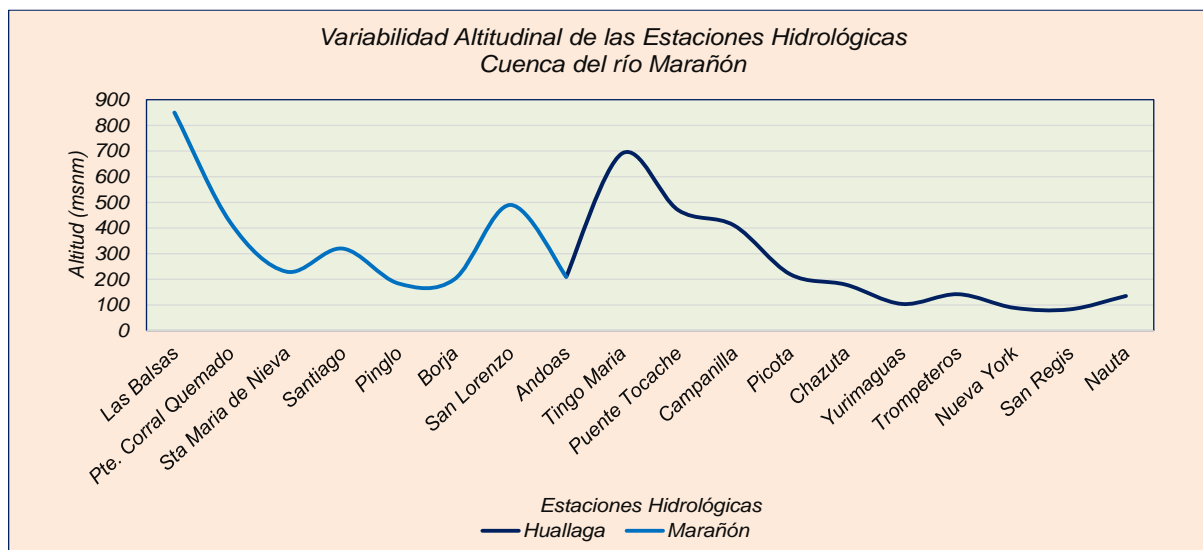


Figura 4-2. Variabilidad altitudinal dela red observacional hidrológica – cuenca del río Marañón  
Fuente. Elaboración propia

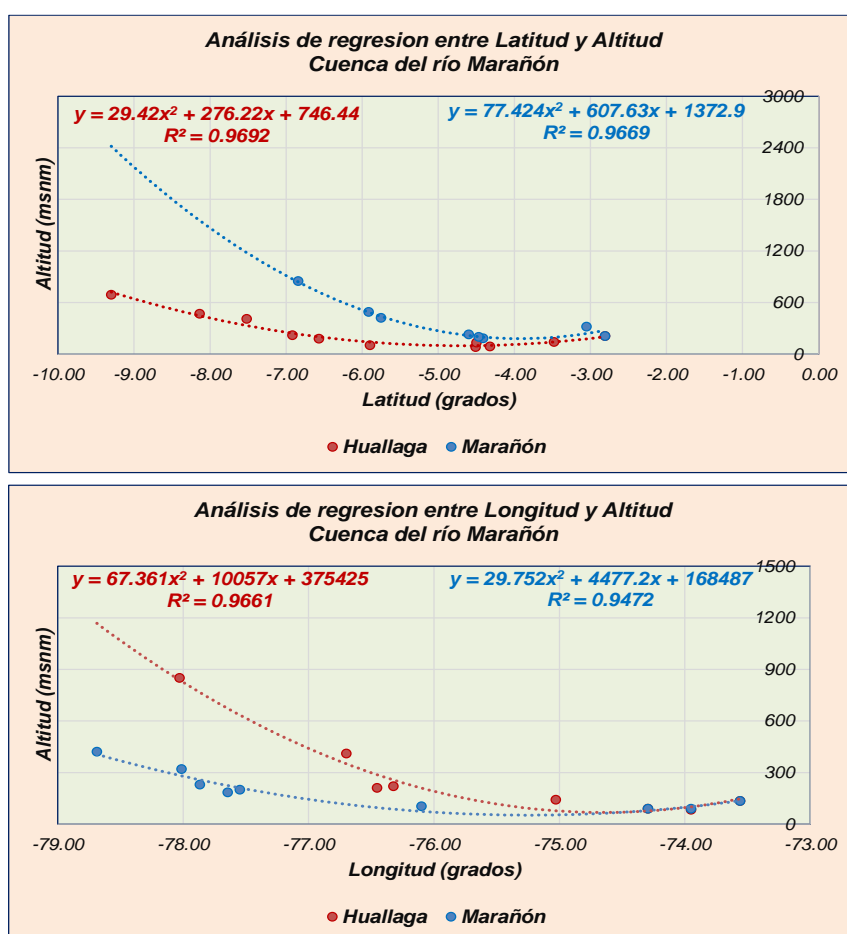


Figura 4-3 Análisis de regresión red de estaciones a) Latitud y Altitud b) Longitud y Altitud  
Fuente. Elaboración propia

En ambos casos, las relaciones obtenidas nos permitirán estimar de una manera general las posibles ubicaciones de nuevas estaciones hidrológicas; con el fin caracterizar en forma espacial y altitudinal los aportes en volumen de agua y los procesos de interacción con el mismo ecosistema, como respuesta inherente al proceso de intervención en la cuenca sin una visión estratégica de manejo ni de gestión sostenible.

### 4.3 Análisis de curvas altura gasto por estación

#### 4.3.1 Estación Borja

Se realizaron un total de 219 aforos líquidos, durante 22 campañas en el período comprendido entre 2003 al 2015 (**Tabla 4-1**), permitiendo con ellos generar información hidrométrica de importancia para caracterizar el régimen hidrológico del río Marañón en este punto de control.

Tabla 4-1 Número de aforos realizados en la estación Borja

Fechas	Números de Aforos
2003 – 05	05
2003 – 08	05
2004 – 03	14
2004 – 12	07
2005 – 04	08
2005 – 07	22
2005 – 10	08
2006 – 03	05
2006 – 08	06
2007 – 03	26
2008 – 02	13
2008 – 04	09
2008 – 09	10
2009 – 04	08
2010 – 02	10
2010 – 07	07
2010 – 12	06
2011 – 06	06
2012 – 04	06
2013 – 07	04
2014 – 09	04
2015 – 02	30
<b>Total</b>	<b>219</b>

Fuente: Elaboración propia (IRD-SENAMHI)

La información ha sido automatizada y procesada a través del software HYDRACCES, desarrollado por el Dr. Philippe Vauchel del IRD, donde se almacena toda la data generada a través de las campañas de aforo; sin embargo, se presentaron alguno inconveniente de compatibilidad con el Microsoft Office, lo que nos obligó a emigrar la información al Excel, desde donde se realizaron todos los análisis y cálculos correspondiente a caracterizar cada una de las variables hidráulicas.

En la **Tabla 4-2**, se muestra el resumen general de los valores procesados y analizados de los aforos realizados en la estación Borja, extrayéndose las variables de altura de mira, caudal, área de la sección transversal de aforo, perímetro de la sección transversal de aforo, velocidad media de la corriente, ancho promedio del río y la profundidad máxima de la sección transversal de aforo. Los caudales obtenidos fluctúan entre 2009 m<sup>3</sup>/s y 12230 m<sup>3</sup>/s, lo que nos permite obtener un promedio de 6500 m<sup>3</sup>/s.

Tabla 4-2. Relación de aforos realizados en la estación hidrológica de Borja - Marañón

Día	H (cm)	Q (m3/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Velocidad (m/s)	Ancho (m)	Hmax (m)
24-May-03	682	7491	3353	332.3	2.39	319.9	19.58
03-Aug-03	420	2606	2078	300.0	1.30	293.6	14.85
29-Mar-04	709	7900	3038	278.3	2.55	269.1	20.19
30-Mar-04	749	8652	3265	282.3	2.71	274.3	20.68
17-Dec-04	700	7761	3174	277.9	2.61	270.0	19.62
18-Dec-04	670	7218	3208	283.5	2.40	272.1	19.89
13-Apr-05	740	8441	3062	287.8	2.61	278.2	20.98
22-Jul-05	748	9596	3342	274.1	2.96	265.5	20.43
23-Jul-05	611	6321	2945	270.3	2.26	262.2	18.95
23-Jul-05	580	5491	2802	268.5	2.04	260.2	18.50
13-Oct-05	370	2919	2197	261.4	1.36	255.4	15.51
19-Mar-06	678	7299	3121	277.7	2.39	267.3	21.52
29-Aug-06	325	2090	2016	253.3	1.03	248.1	14.39
11-Mar-07	545	5035	2324	261.1	1.94	255.0	16.49
11-Mar-07	545	5410	2538	338.2	2.00	333.3	11.93
12-Mar-07	512	4690	2411	338.2	1.81	334.3	11.63
05-Feb-08	457	3859	2350	252.2	1.49	245.6	20.96
03-May-08	600	5846	2700	248.3	2.10	239.4	22.09
23-Sep-08	554	5788	2465	273.9	2.18	259.0	19.90
25-Apr-09	814	10210	4030	338.0	2.63	331.2	15.54
27-Feb-10	475	4139	2827	429.9	1.59	427.1	8.39
23-Jul-10	366	2432	2451	408.5	1.07	406.1	7.05
10-Dec-10	356	2453	2497	372.7	1.06	369.7	8.24
10-Dec-10	356	2453	2497	372.7	1.06	369.7	8.24
10-Dec-10	356	2453	2497	372.7	1.06	369.7	8.24
17-Jun-11	548	5056	2950	438.7	1.87	435.3	8.60



Día	H (cm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Velocidad (m/s)	Ancho (m)	Hmax (m)
06-Apr-12	863	11060	4126	451.6	2.95	445.6	11.34
24-Jul-13	467	3838	2606	411.6	1.56	409.2	9.44
18-Sep-14	427	3291	2554	438.0	1.40	433.8	8.24
02-Feb-15	850	10900	4133	449.0	2.94	442.8	11.31
03-Feb-15	897	11760	4396	454.6	2.92	448.5	11.81
03-Feb-15	903	11960	4394	455.4	2.99	449.5	11.84
05-Feb-15	926	12090	4316	454.8	3.09	448.2	11.82
05-Feb-15	922	12230	4349	454.0	3.09	447.9	11.83
<b>Media</b>	<b>609.4</b>	<b>6492.3</b>	<b>3029.8</b>	<b>343.0</b>	<b>2.10</b>	<b>336.4</b>	<b>14.70</b>
<b>Mínima</b>	<b>325</b>	<b>2090</b>	<b>2016</b>	<b>248.3</b>	<b>1.03</b>	<b>239.4</b>	<b>7.05</b>
<b>Máxima</b>	<b>926</b>	<b>12230</b>	<b>4396</b>	<b>455.4</b>	<b>3.09</b>	<b>449.5</b>	<b>22.09</b>

Fuente: Elaboración propia (SENAMHI – IRD-HYBAM, 2015)

Con dicha información, se procedió a determinar las relaciones funcionales entre los parámetros hidráulicos de la sección transversal de la estación Borja, generados los análisis siguientes:

- Altura de mira (H) vs Caudal (Q)

Con la totalidad de los datos de aforo generados para la estación Borja (34 aforos) durante el período 2003/2015, se procedió a generar la curva altura gasto que se muestra en la **Figura 4-4**, donde apreciamos claramente como la distribución de los puntos sigue una tendencia parabólica uniforme, la cual queda representada mediante la expresión algebraica de segundo orden.

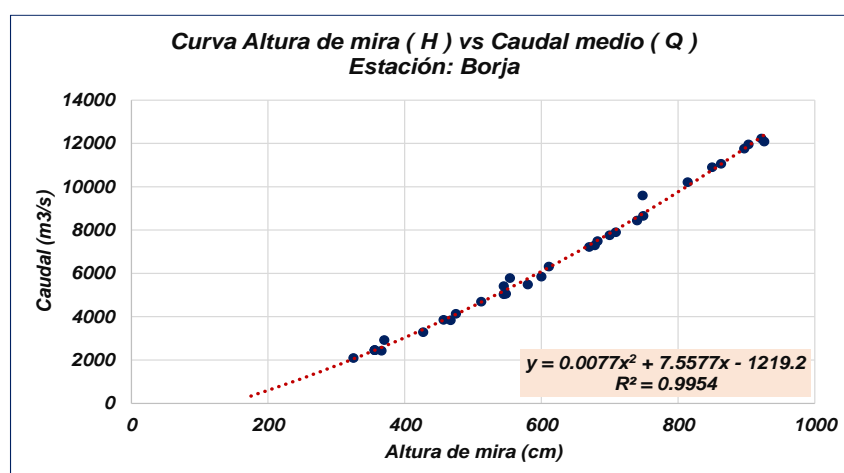


Figura 4-4 Análisis de la curva Altura de mira – Caudal Estación Borja

Fuente: Elaboración propia

- Altura de mira (H) vs Área (As)

Apreciamos en la **Figura 4-5**, como la distribución de los puntos ploteados entre la altura de mira y el área mojada, presentan patrones de comportamiento variables especialmente para el

intervalo de mira comprendido entre 300 cm y 600 cm, considerado como período de aguas bajas, intervalo que está relacionado al año 2010, el cual fue clasificado como el año más secos en la Amazonía Peruana. Es importante indicar que los aforos fueron realizados durante diciembre.

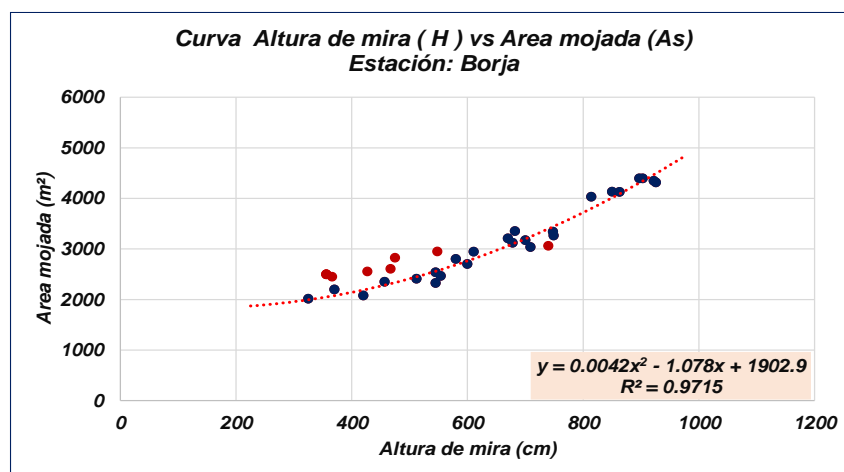


Figura 4-5 Análisis de la curva Altura de mira – Área mojada Estación Borja  
Fuente. Elaboración propia

En el proceso de ajuste de la curva, para obtener un patrón de comportamiento representativo, por lo cual se ha optado por depurar de la serie original aquellos valores que representan generan una distorsión a la relación funcional entre las variables analizadas, y que están identificados por los puntos de color rojo (7).

- Altura de mira (H) vs Perímetro mojado (Pm)

La distribución de los valores analizados muestra un comportamiento variables, el cual ha sido caracterizado a través de dos expresiones algebraicas de primer grado y que están identificados por colores, tal como se aprecia en la **Figura 4-6**.

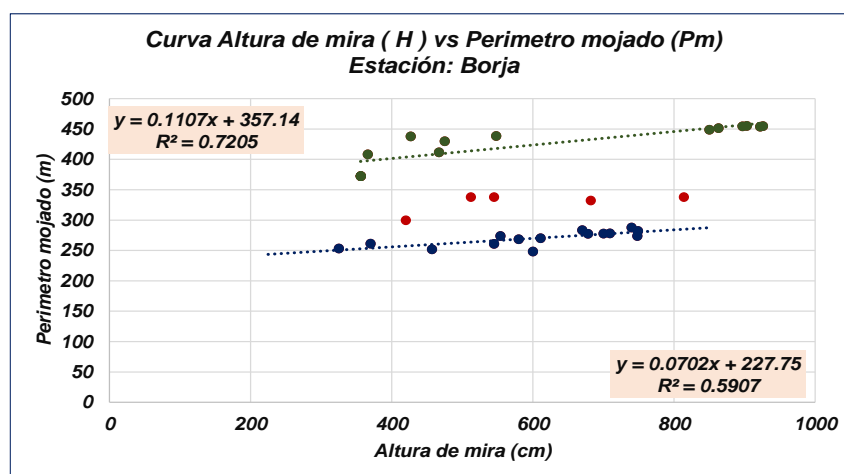


Figura 4-6. Análisis de la curva Altura de mira – Perímetro mojado Estación Borja  
Fuente. Elaboración propia

Los puntos ploteados bajo el color verde, representan los aforos realizado durante el período 2010 – 2015, intervalo de tiempo donde los caudales fluctuaron entre 2000 m<sup>3</sup>/s y 12200 m<sup>3</sup>/s. Dichos puntos, fueron ajustado a una expresión algebraica de primero orden. Los puntos rojos corresponden a los años 2003, 2007 y 2009, los cuales se ubican en una fase intermedia entre las dos curvas anteriores.

Los puntos ploteados bajo el color azul, representan los aforos realizado durante el período 2003 – 2008, intervalo de tiempo donde los caudales fluctuaron entre 2000 m<sup>3</sup>/s y 10200 m<sup>3</sup>/s. Dichos puntos, fueron ajustados a una expresión algebraica de primero orden

- Altura de mira (H) vs velocidad superficial (Vs) y Velocidad media (Vm)

Con relación a los valores de puntos ploteados entre la altura de mira y la velocidad superficial, apreciamos en la **Figura 4-7**, que la distribución sigue un comportamiento parabólico el cual ha sido representado mediante una expresión algebraica de segundo grado.

La serie de datos, presenta dos valores discrepantes los cuales han sido identificados y que corresponden a los años 2005 (julio), 2008 (setiembre) y 2009 (abril); los cuales han sido extraído de la serie final para realizar el ajuste.

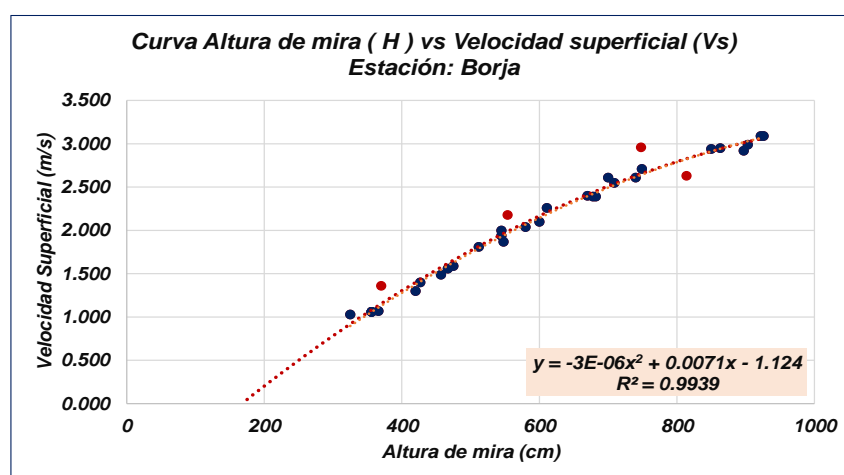


Figura 4-7. Análisis de la curva Altura de mira – Velocidad superficial Estación Borja  
Fuente. Elaboración propia

En relación con la velocidad media obtenida para cada uno de los aforos, se aprecia el mismo patrón de comportamiento que la velocidad superficial; sin embargo, la discrepancia entre los valores es más notoria en la zona comprendida entre los niveles de agua de 400 cm y 600 cm, tal como se aprecia en la **Figura 4-8**.

Dichos datos no fueron considerados en el análisis final de ajuste, lo que permitió mejorar la representatividad de la expresión algebraica de segundo orden y buscar que la serie de velocidades guarden cierto patrón de comportamiento similar

Para conocer la relación que existe entre las velocidades, se realizó un análisis de regresión entre dichas variables obteniéndose la **Figura 4-9**, en la cual se aprecia que ambas guardan una relación directamente proporcional, lo que ha permitido ajustar la serie de datos a una expresión algebraica de primer orden. En dicha figura, se apreciar además que la distribución de los datos sigue un patrón de comportamiento uniforme, lo que nos indica que entre ambas variables hay una relación directamente proporcional y explicativa.

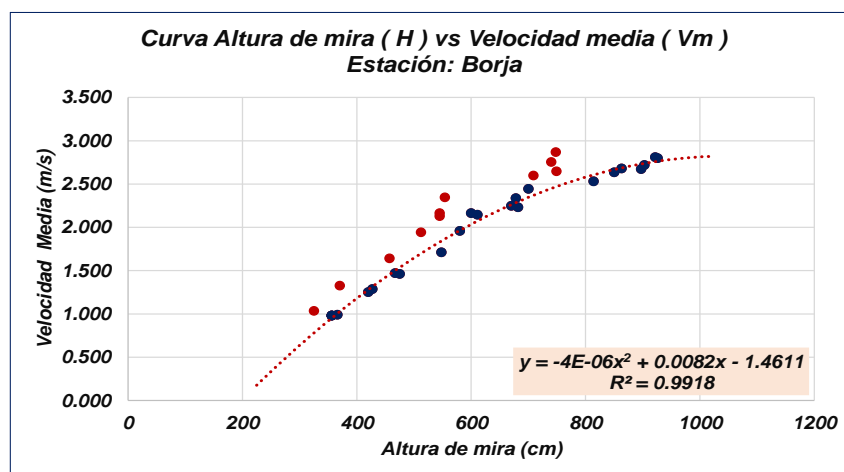


Figura 4-8 Análisis de la curva Altura de mira – Velocidad media estación Borja  
Fuente. Elaboración propia

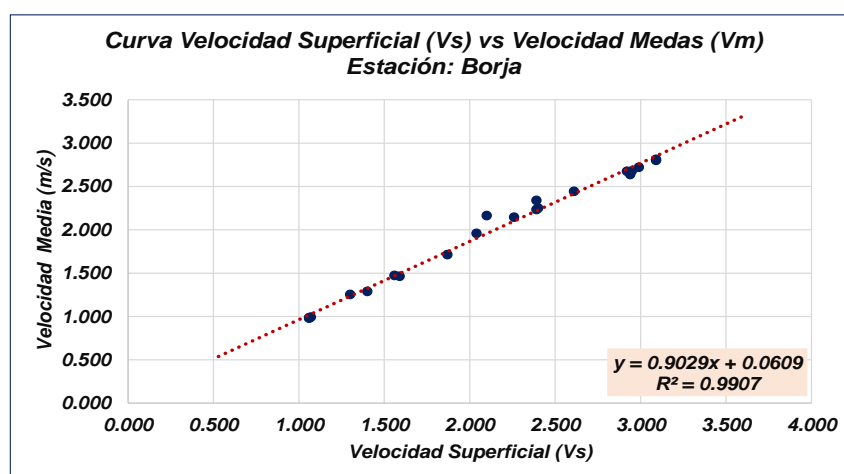


Figura 4-9. Análisis de la velocidad superficial y la velocidad media estación Borja  
Fuente. Elaboración propia

#### - Altura de mira (H) vs Ancho de la sección (Ans)

La serie de datos seleccionados para este análisis corresponde a las altura de mira y el ancho de la sección al momento del aforo, los cuales han sido ploteados tal como se muestra en la **Figura 4-10**, donde apreciamos que su distribución registra un comportamiento variable lo que ha originado que la serie sea depurada, permitiendo con ellos definir una curva a través de una expresión algebraica de tercer orden.

Este tipo de comportamiento puede ser causado por un desplazamiento vertical de la regla limnimétrica, la cual al ser reinstalada nuevamente no se tuvo en consideración una cota absoluta única, generando valores para una misma altura de mira diferentes valores de ancho del río.

En la **Figura 4-11**, apreciamos que la sección de aforo presenta características hidráulicas estable, por lo cual la única explicación sustentable de la variabilidad entre las variables analizadas es el desplazamiento de la mira; ya que la hidrogeomorfología de la zona no muestra patrones de cambios originado por erosión en las márgenes derecha e izquierda.

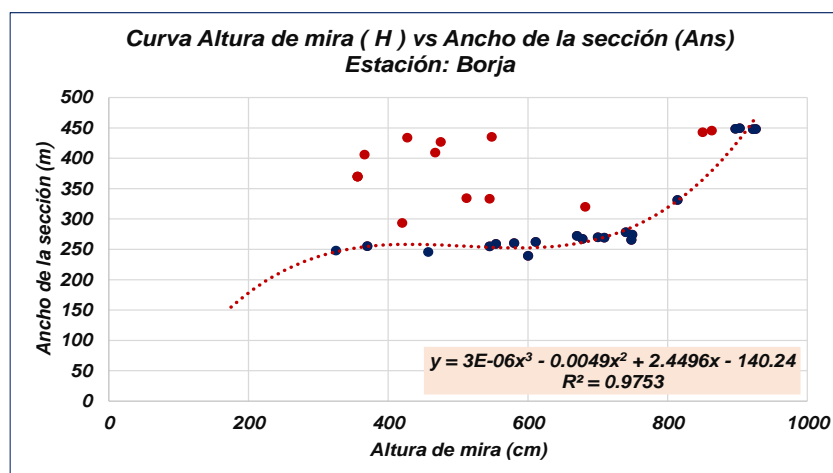


Figura 4-10 Análisis de la curva Altura de mira – Ancho de la sección Estación Borja  
Fuente: Elaboración propia



Figura 4-11 Sección de aforo de la estación Borja  
Fuente: Elaboración propia (imagen de google)

- Altura de mira (H) vs Radio hidráulico (Rh)

Cuando relacionamos las variables de altura de mira con el radio hidráulico (es la relación entre área de la sección transversal (A) y el perímetro mojado de la sección (P)  $\Rightarrow R_h = A / P$ ), obtenemos las **Figura 4-12**, en la cual se apreciamos los valores ploteados, que muestran una gran variabilidad en su distribución lo que ha originado que se obtengan dos expresiones algebraicas:



- **Color azul:** corresponde a los valores seleccionados para el período comprendido entre el 2004 / 2009, obteniendo la expresión algebraica de primer orden.
- **Color verde:** representa el comportamiento de los valores seleccionados, para el período 2007 / 2015, los cuales han sido ajustado a una expresión algebraica de primer orden.

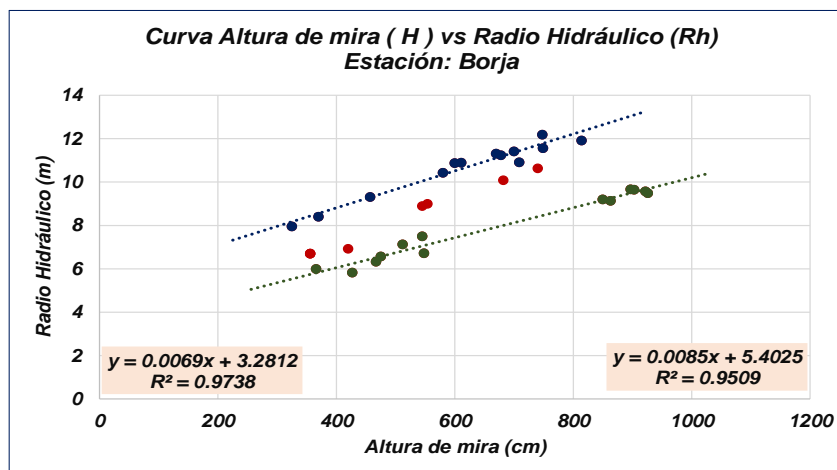


Figura 4-12 Análisis de la curva Altura de mira – Radio hidráulico estación Borja  
Fuente. Elaboración propia

Los puntos rojos, corresponden a los valores de los años 2003, 2008 y 2010, que van desde años secos como el 2010 hasta años húmedos como el 2003. Si integramos el análisis, apreciamos que hay un cambio significativo que se puede traducir a una reubicación de la regla limnimétrica, ya que siendo el año 2010 el más seco en la amazonia; habría permitido realizar una instalación de mira más profunda, con lo cual se sustentaría los nuevos valores registrado en el período 2007 / 2015.

#### - Caudal (Q) vs Área mojada (Am)

A través de este análisis, buscamos relacionar las variables de caudal y área de la sección transversal de aforo, distribución de valores que se aprecia en la **Figura 4-13**, donde se observa claramente como los valores correspondiente a los años 2010 y 2011, generan cierta discrepancia en el ajuste por lo cual no fueron consideradas en el análisis final de la determinación de la curva de ajuste; cuya expresión algebraica es de segundo grado.

Ambas variables tiene una relación directa de causa efecto, ya que a una mayor área de la sección e correspondería un mayor caudal y viceversa. Esto nos lleva a plantear que en el proceso de los aforos desarrollados:

- La sección hidráulica del río ha experimentado cambios dinámica naturales relacionados a su hidrogeomorfología fluvial (erosión, sedimentación), entendiéndose que la cuenca está en permanente proceso evolución.
- Pudiera haberse cometido algún error sistemático, a la hora de realizar el proceso de calibración y adecuación de los equipos en al momentos de realizar el aforo en el río.

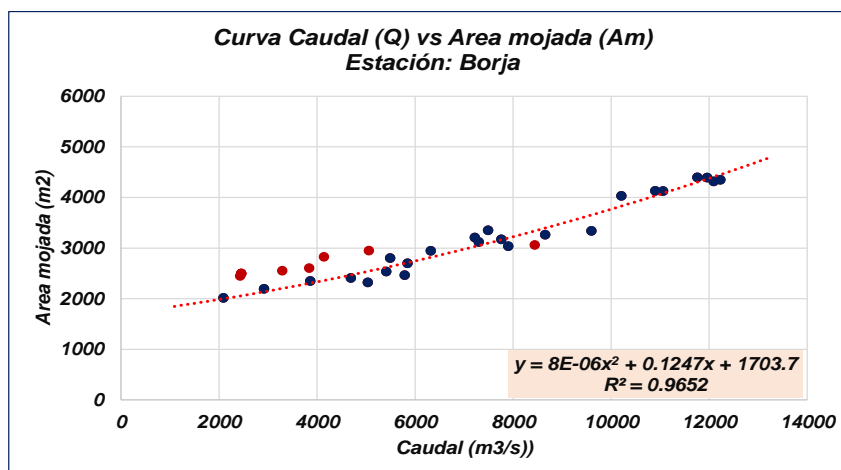


Figura 4-13. Análisis de la curva Caudal – Área mojada estación Borja  
Fuente. Elaboración propia

Ambas alternativas son viables de ocurrir; sin embargo, conociendo las características fluviales de los ríos amazónicos, la primera es la más viable.

- Caudal (Q) vs Velocidad superficial (Vs) y Velocidad media (Vm)

Se ha determinado que ambas variables guardan una relación directa en su comportamiento, tal como se aprecia en la **Figura 4-14**, en la cual su distribución claramente refleja una interdependencia funcional que se ha traducido a través de una expresión algebraica de segundo orden, con un coeficiente de regresión de 99%, después de depurar cierto valores que generan una distorsión mínima.

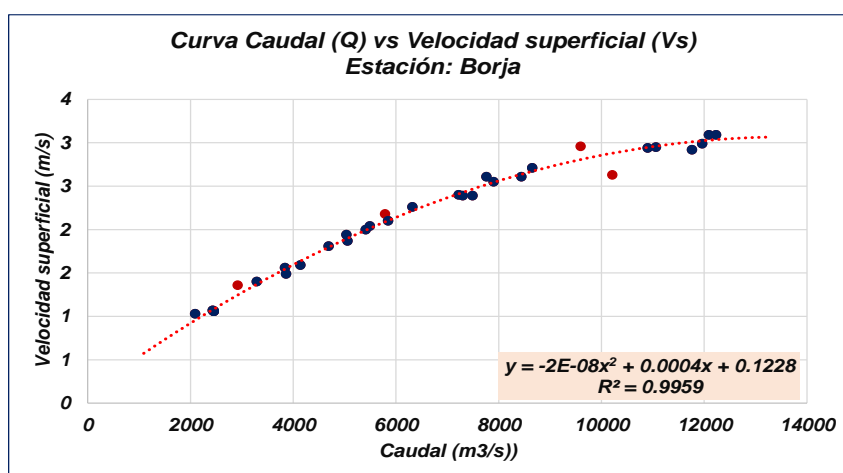


Figura 4-14 Análisis de la curva Caudal – Velocidad superficial  
Fuente. Elaboración propia

Al igual que en caso anterior, ambas variables tienen relación directa en su funcionalidad, lo que nos lleva a decir que los puntos rojos que no fueron considerados en el proceso final, se debieron a distorsión en la línea de corriente del flujo simplemente a un error sistemático de operación del sistema de aforo (operador de la nave, equipos y otros).

En la **Figura 4-15**, se analiza las variables caudal y velocidad media de la corriente, detectándose que aquí los valores ploteados presentan una mayor variabilidad, lo que nos ha obligado a realizar una depuración preliminar de los mismo, a fin de darle a la serie una representatividad homogénea a través de una expresión algebraica de segundo orden, con un coeficiente de regresión de 98%.

A pesar de esa variabilidad, podemos apreciar que los valores de color rojo, mantiene una tendencia uniforme en el comportamiento de los aforos realizados durante el período 2003 / 2007.

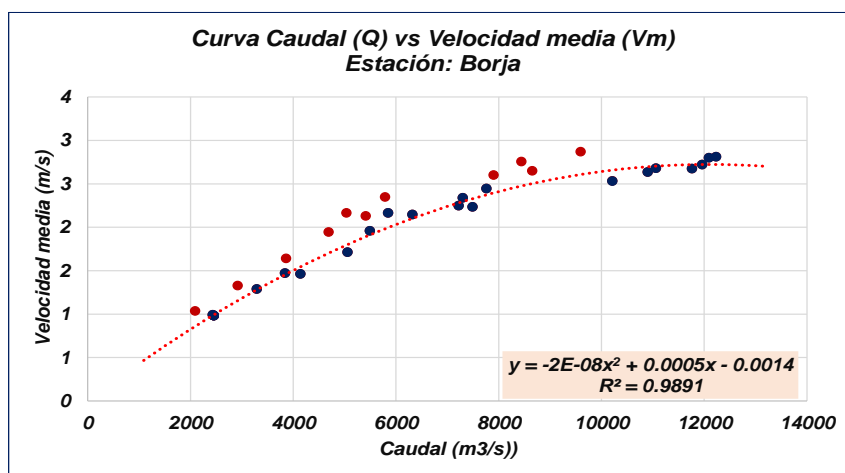


Figura 4-15 Análisis de la curva Caudal – Velocidad media estación Borja

Fuente. Elaboración propia

El período comprendido entre el 2009 / 2015, registra valores que mantienen una misma tendencia en su comportamiento.

#### - Caudal (Q) vs Radio hidráulico (Rh)

Los valores ploteados entre estas variables, muestran un comportamiento variables en su distribución, los cuales previo análisis se ha podido seleccionar e identificar aquellos que mantienen un mismo comportamiento homogéneo y tendencia, habiéndose generado dos expresiones algebraicas que logran representar los valores, tal como se aprecia en la **Figura 4-16**.

Además, se aprecia que del análisis realizado se ha detectado que la serie de valores presenta tres comportamientos bien definidos, los cuales son:

- **Curva de color azul**, obedece a los aforos realizados durante el período 2011 / 2015, brindando un coeficiente de regresión de 98%.
- **Curva de color verde**, engloba a los aforos realizado durante el período 2004 / 2007, con un coeficiente de regresión de 97%.
- **Los puntos rojos**, corresponden a los aforos realizados durante el período 2008 / 2010, y se encuentran en la fase intermedia de las dos curvas anteriores.

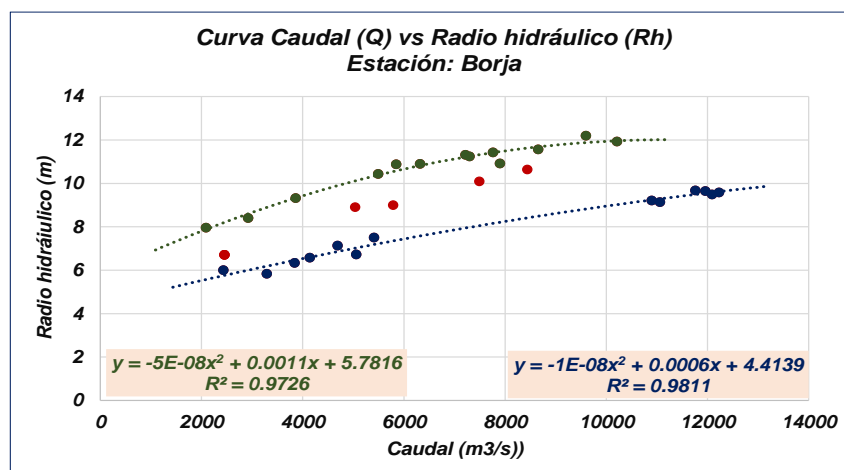


Figura 4-16. Análisis de la curva Caudal – Radio hidráulico

Fuente. Elaboración propia

En relación a los párrafos anteriores, podemos decir que la relación entre el caudal y el radio hidráulico de la sección de aforo; ha experimentado desplazamiento uniformes a través de los aforos realizados durante el período 2001 / 2015. Dicho proceso podríamos referirlos a que los ríos tienen una dinámica de cambios en sus características que, con frecuencia, se manifiesta en su comportamiento hidráulico.

Estas variaciones son más o menos continuas, e incluso estacionales. Como son frecuentes los cambios en las formas del cauce, motivadas por causas naturales o por efectos de la intervención humana. Aunque estas modificaciones no afecten directamente a la sección de medida, pueden influir en ellas a causa de las curvas de remanso que se modifiquen por causa de estos cambios.

Geológicamente, los ríos pueden clasificarse como jóvenes, maduros y viejos. Para nuestro caso particular diríamos que el río en la estación de Borja es maduro con pendiente relativamente baja y erosión en el fondo y estables.

#### 4.3.2 Estación Chazuta

Se realizaron un total de 173 aforos líquidos, durante 19 campañas realizadas en el período comprendido entre 2003 al 2015 (**Tabla 4-3**), permitiendo con ellos generar información hidrométrica de importancia para caracterizar el régimen hidrológico del río Huallaga en este punto de control.

La información ha sido automatizada y procesada a través del software HYDRACCES, desarrollado por el Dr. Phillippe Vauchel del IRD, donde se almacena toda la data generada a través de las campañas de aforo; sin embargo, se presentaron algunos inconvenientes de compatibilidad con el Microsoft Office, lo que nos obligó a emigrar la información al Excel, desde donde se realizaron todos los análisis y cálculos correspondiente a caracterizar cada una de las variables hidráulicas.

Tabla 4-3 Número de aforos realizados en la estación Chazuta

Fechas	Números de Aforos
2003 – 07	09
2003 – 10	03
2005 – 04	06
2005 – 07	09
2006 – 02	05
2006 – 07	06
2007 – 02	06
2007 – 07	07
2008 – 02	08
2008 – 09	10
2009 – 04	10
2010 – 03	11
2010 – 07	06
2010 – 12	08
2011 – 06	06
2012 – 04	06
2013 – 02	21
2014 – 02	06
2015 – 01	34
<b>Total</b>	<b>173</b>

Fuente: Elaboración propia (datos del IRD-SENAMHI)

En la **Tabla 4-4**, se muestra el resumen general de los valores procesados y analizados de los aforos realizados en la estación Chazuta, extrayéndose las variables de altura de mira, caudal, área de la sección transversal de aforo, perímetro de la sección transversal de aforo, velocidad media de la corriente, ancho promedio del río y la Profundidad máxima de la sección transversal de aforo. Los caudales obtenidos fluctúan entre 953 m<sup>3</sup>/s y 9450 m<sup>3</sup>/s, lo que nos permite obtener un promedio de 4176 m<sup>3</sup>/s.

Con dicha información, se procedió a determinar las relaciones funcionales entre los parámetros hidráulicos de la sección transversal de la estación Chazuta, generando con ellos los análisis que permitirán caracterizar la hidráulica fluvial del río en dicha estación de medición.

La profundidad en dicha sección, experimenta rangos de variación entre 4,4 m hasta 15,1 metros; mientras que el ancho del río fluctúa entre 154,5 metros y 282,0 metros. La velocidad del río, experimenta rangos de variación entre 0,7 m/s y 3,1 m/s.

Tabla 4-4 Relación de aforos realizados en la estación hidrológica de Chazuta - Huallaga

Día	H (cm)	Q (m3/s)	Área (m²)	Perímetro (m)	Velocidad (m/s)	Ancho (m)	Hmax (m)
30-Jul-03	1031	1101	1506.000	162.200	0.731	154.500	15.100
30-Jul-03	1030	1086	932.800	236.400	1.164	235.800	4.740
24-Oct-03	1209	1360	1046.000	242.200	1.300	240.800	5.200
9-Apr-05	1354	3973	1753.000	273.300	2.266	271.000	7.830
14-Jul-05	996	996.1	890.100	237.800	1.119	236.800	4.420
18-Feb-06	1310	3590	1714.000	275.000	2.095	273.300	7.490
27-Jul-06	1003	953.9	883.200	238.000	1.080	237.000	4.450
16-Feb-07	1218	2762	1465.000	268.800	1.885	267.400	6.670
14-Jul-07	1056	1164	992.300	243.900	1.173	242.600	4.870
1-Feb-08	1437	4449	1904.000	277.200	2.337	273.700	8.170
19-Sep-08	1130	1711	1158.000	256.800	1.478	255.600	5.540
22-Apr-09	1353	3904	1767.000	279.300	2.209	277.500	7.880
3-Mar-10	1509	6099	2231.000	275.900	2.734	271.600	9.560
27-Jul-10	1045	1141	922.700	241.400	1.237	240.300	4.450
7-Dec-10	1360	4208	1765.000	267.500	2.384	264.800	7.710
14-Dec-10	1165	2075	1241.000	254.200	1.672	252.600	5.790
14-Dec-10	1165	2075	1241.000	254.200	1.672	252.600	5.790
14-Dec-10	1165	2075	1241.000	254.200	1.672	252.600	5.790
20-Jun-11	1118	1623	1094.000	247.200	1.484	245.600	5.260
9-Apr-12	1486	5723	2185.000	283.300	2.619	280.800	9.350
8-Feb-13	1509	5901	2207.000	283.900	2.674	279.600	9.470
9-Feb-13	1574	6908	2453.000	283.500	2.816	279.100	10.300
9-Feb-14	1418	4884	1949.000	274.900	2.506	271.500	8.440
19-Jan-15	1395	4694	1913.000	274.100	2.454	270.700	8.300
22-Jan-15	1587	7118	2444.000	278.400	2.912	275.000	10.180
22-Jan-15	1615	7365	2482.000	279.000	2.967	275.400	10.340
23-Jan-15	1820	9450	3013.000	282.900	3.136	277.000	12.300
24-Jan-15	1828	9209	3069.000	285.200	3.001	278.700	12.480
24-Jan-15	1806	9060	3028.000	285.400	2.992	282.000	12.310
24-Jan-15	1779	8621	2932.000	280.600	2.940	278.300	11.990
<b>Media</b>	<b>1349.0</b>	<b>4176.0</b>	<b>1780.7</b>	<b>262.6</b>	<b>2.1</b>	<b>259.8</b>	<b>8.1</b>
<b>Mínima</b>	<b>996.0</b>	<b>953.9</b>	<b>883.2</b>	<b>162.2</b>	<b>0.7</b>	<b>154.5</b>	<b>4.4</b>
<b>Máxima</b>	<b>1828.0</b>	<b>9450.0</b>	<b>3069.0</b>	<b>285.4</b>	<b>3.1</b>	<b>282.0</b>	<b>15.1</b>

Fuente: Elaboración propia (Datos: SENAMHI – IRD-HYBAM (2015))

- Altura de mira (H) vs Caudal (Q)

Con la totalidad de los datos de aforo generados para la estación de Chazuta (24 aforos) durante el período 2003/2015, se procedió a generar la curva altura gasto que se muestra en la **Figura 4-17**, donde apreciamos claramente como la distribución de los puntos sigue una



tendencia parabólica, la cual queda representada mediante la dos expresión algebraica de segundo orden:

- Para los **puntos azules**, el ajuste está dada por la línea de color rojo, con un coeficiente de regresión de 99%. Para este análisis no se consideró los puntos de color rojo, que corresponden a los aforos de enero de 2015.
- Considerando todos los **puntos (rojos y azules)**, el ajuste obtenido está representado por la línea de color verde y un coeficiente de regresión de 99%.

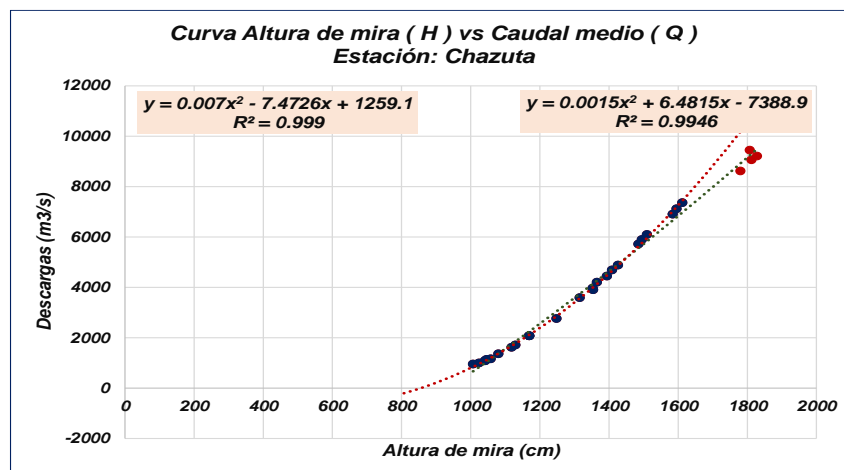


Figura 4-17 Análisis de la curva Altura de mira – Caudal estación Chazuta

Fuente: Elaboración propia

- Altura de mira (H) vs Área (As)

En la **Figura 4-18**, apreciamos la distribución de los puntos ploteados para las variables: Atura de mira y Área de la sección mojada, observándose como la distribución de puntos sigue una misma línea de tendencia y homogeneidad en la serie, salvo el punto de color rojo que genera cierto nivel de discrepancia.

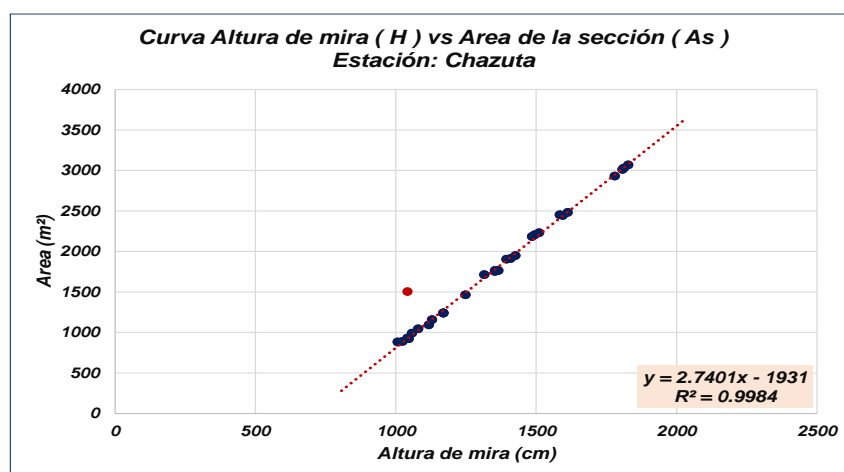


Figura 4-18. Análisis de la curva altura de mira – Área mojada estación Chazuta

Fuente. Elaboración propia

El punto rojo, es el aforo realizado el día 30 de julio de 2003 a las 09:00 horas; sin embargo ese mínimo día a las 1:00 horas, se vuelve a realizar un aforo y el dato si se ajusta muy bien a la

distribución de los valores utilizado para generar la figura, lo que no estaría indicando que el primer aforo, tuvo cierto errores sistemáticos.

- Altura de mira (H) vs Perímetro mojado (Pm)

La relación funcional entre ambas variables es representada en la **Figura 4-19**, donde podemos apreciar como la distribución de los valores mantiene un comportamiento y tendencia uniforme, permitiendo de esta manera ajustar una ecuación algebraica de segundo orden con un coeficiente regresión de 96%.

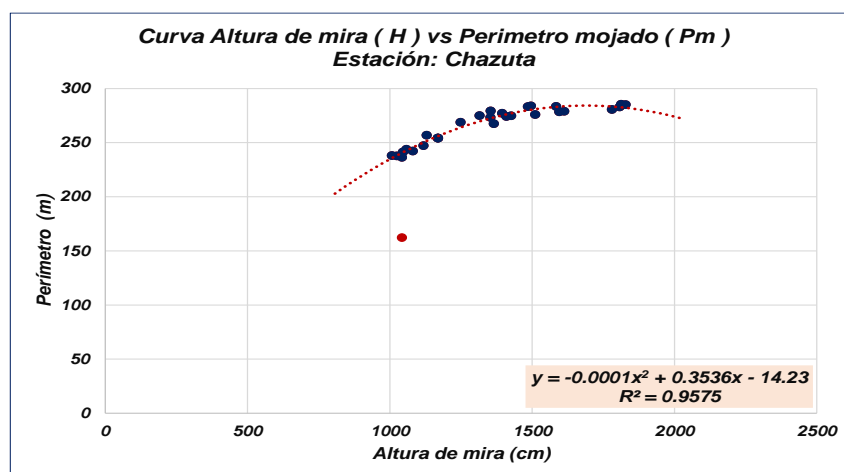


Figura 4-19. Análisis de la curva Altura de mira – Perímetro mojado estación Chazuta  
Fuente. Elaboración propia

En la serie, se detectó un valor que genera discrepancia en la serie (punto de color rojo); por lo cual no fue considerado en los análisis finales, debido a su incongruencia por algún error sistemático, observacional o de transcripción. Dicho valor corresponde al aforo realizado en julio de 2003 (primer aforo de toda la serie).

- Altura de mira (H) vs Velocidad superficial (Vs) y Velocidad media (Vm)

Al analizar la relación funcional entre la altura de mira y la velocidad superficial, se determinó que la serie de valores presentaba dos tipos de distribución diferenciada, siendo, las cuales fueron identificadas a través de colores (**Figura 4-20**)

- Puntos de color azul: la serie de puntos mantienen una distribución uniforme y creciente lo que ha permitido realizar un ajuste matemático a través de una expresión algebraica de tipo lineal, con un coeficiente de regresión de 99%.
- Puntos de color rojo: Son puntos que se ubican en los extremos de la serie analizada, y corresponden a los años 2003 y 2015. De mantenerse estos valores en la serie original, generaban ciertos niveles de distorsión en la representatividad, por lo cual no fueron considerados.

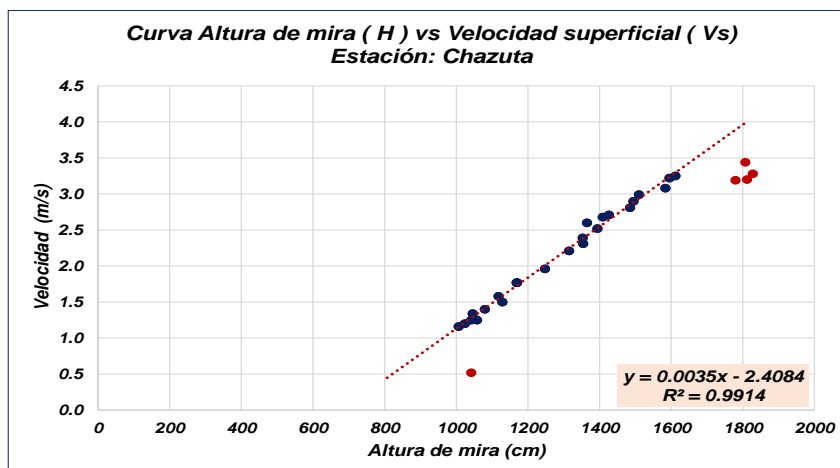


Figura 4-20. Análisis de la curva Altura de mira – Velocidad superficial Estación Chazuta  
Fuente. Elaboración propia

En relación con la velocidad media obtenida para cada uno de los aforos, se aprecia el mismo patrón de comportamiento que la velocidad superficial, y con los mismos niveles de distorsión en los extremos de los aforos realizados en el 2003 y 2015, tal como se aprecia en la **Figura 4-21**.

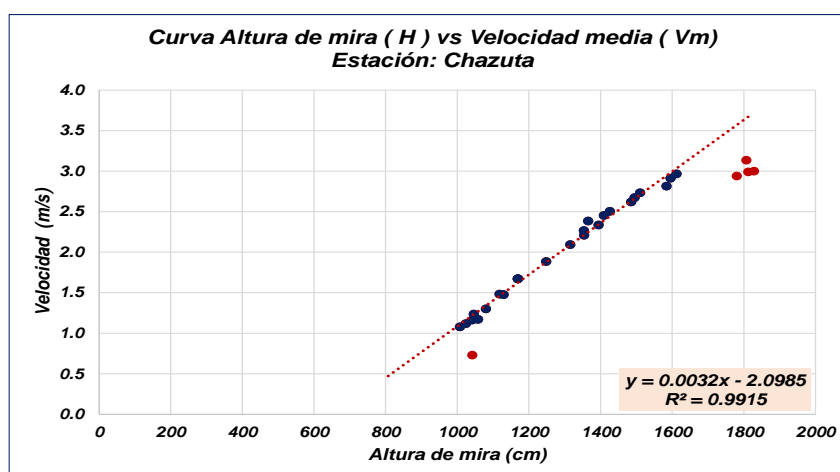


Figura 4-21. Análisis de la curva Altura de mira – Velocidad media Estación Chazuta  
Fuente. Elaboración propia

Para conocer la relación que existe entre las velocidades, se realizó un análisis de regresión entre dichas variables obteniéndose la **Figura 4-22**, en la cual se aprecia que ambas guardan una relación directamente proporcional, lo que ha permitido ajustar la serie de datos a una expresión algebraica de primer orden. En dicha figura, también se muestra el aforo de 2003, el cual presenta cierto nivel de discrepancia, por lo cual no fue considerado en los análisis finales.

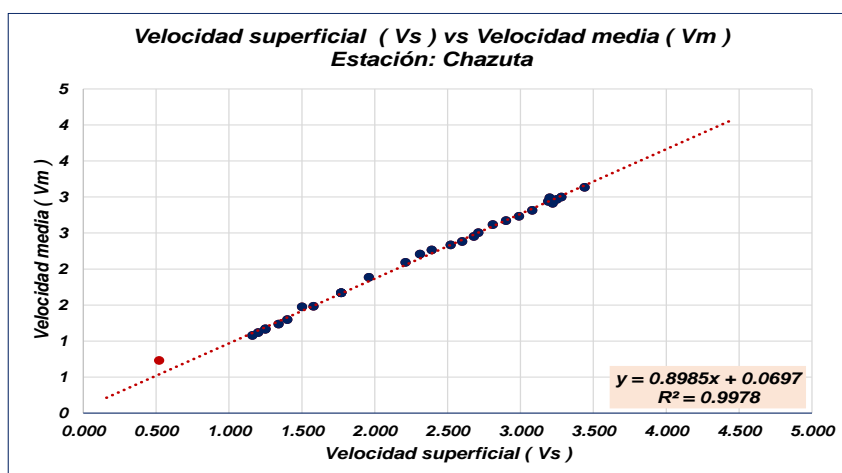


Figura 4-22 Análisis de la velocidad superficial y la velocidad media Estación Chazuta

Fuente. Elaboración propia

- Altura de mira (H) vs Ancho de la sección (Ans)

La serie de datos seleccionados para este análisis corresponde a las alturas de mira y anchos de la sección transversal al momento del aforo; los cuales fueron plotados tal como se muestra en la **Figura 4-23**, donde apreciamos que su distribución registra un comportamiento uniforme a partir de octubre 2003, mientras que el primer aforo (julio 2003) presenta cierto nivel de discrepancia con la serie, por lo cual no fue considerado en el análisis final.

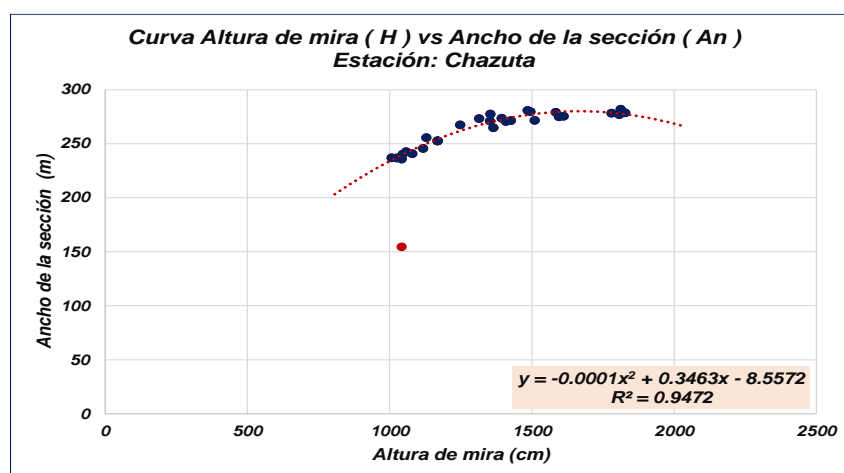


Figura 4-23. Análisis de la curva Altura de mira – Ancho de la sección Estación Chazuta

Fuente. Elaboración propia

El ajuste realizado ha permitido obtener una expresión algebraica de segundo orden con un coeficiente de regresión de 95%.

En la **Figura 4-24**, apreciamos que la sección de aforo presenta características hidráulicas estable; a pesar que aguas arriba (margen izquierda), está ubicada la población de Chazuta, así como ciertas áreas con procesos de deforestación o cambio de uso de suelo. En la porción del río se ven en ambas márgenes acumulaciones de sedimentos.

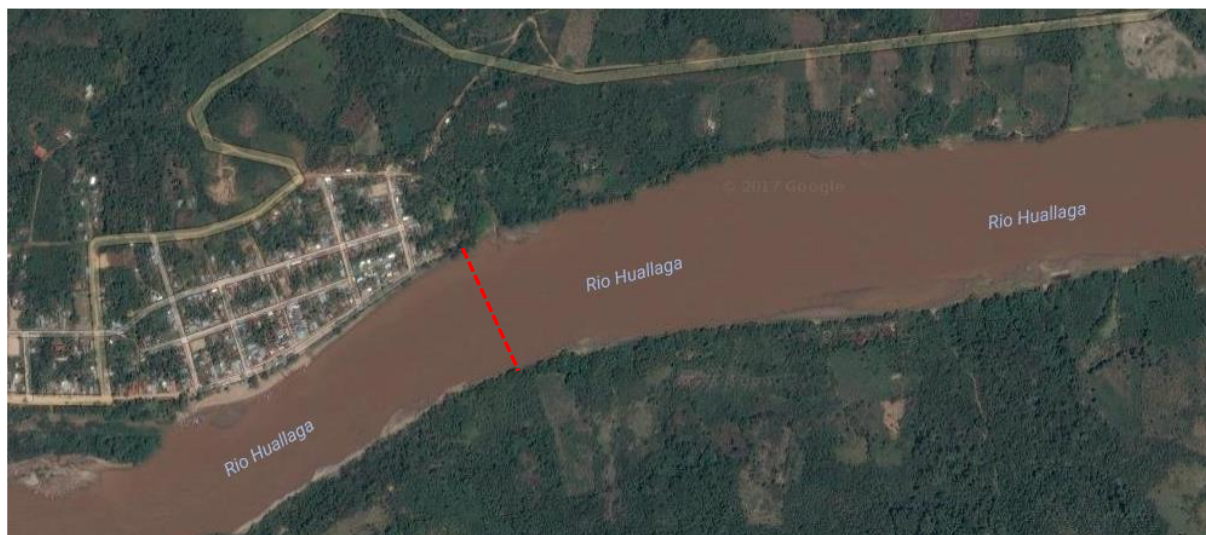


Figura 4-24. Sección de aforo de la estación Chazuta

Fuente: Elaboración propia (imagen de google)

- Altura de mira (H) vs Radio hidráulico (Rh)

Con los valores de las variables de altura de mira con el radio hidráulico (es la relación entre área de la sección transversal (A) y el perímetro mojado de la sección (P)  $\Rightarrow R_h = A / P$ ), obtenemos la **Figura 4-25**, donde apreciamos que los datos ploteados, muestran un comportamiento uniforme en su distribución; salvo el aforo realizado en julio de 2003, valor que genera cierta discrepancia en la serie original.

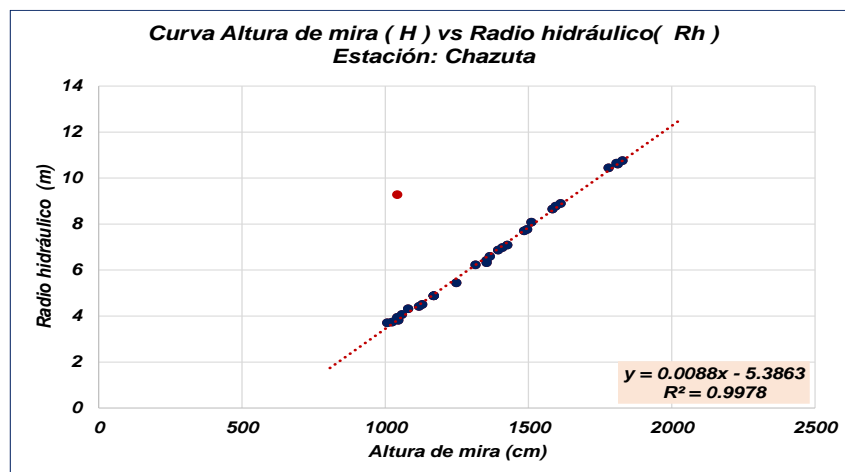


Figura 4-25. Análisis de la curva Altura de mira – Radio hidráulico estación Chazuta

Fuente. Elaboración propia

El ajuste realizado a la serie de valores correspondiente a los puntos de color azul, ha permitido obtener una expresión algebraica de primer orden, con un coeficiente de regresión de 99%, permitiendo de esta manera obtener una ecuación que describa el comportamiento, funcionalidad y representatividad entre los parámetros hidráulicos de la sección de aforo correspondiente a esta estación hidrológica.

- Caudal (Q) vs Area mojada (Am)

A través de este análisis, buscamos relacionar las variables de caudal y área mojada de la sección transversal de aforo, cuya distribución de valores se aprecia en la **Figura 4-26**, donde observamos claramente como el aforo realizado en julio de 2003, genera cierta discrepancia en el ajuste por lo cual no fue considerado en el análisis final de la determinación de la curva de ajuste; cuya expresión algebraica es de segundo grado y con un coeficiente de regresión de 99%.

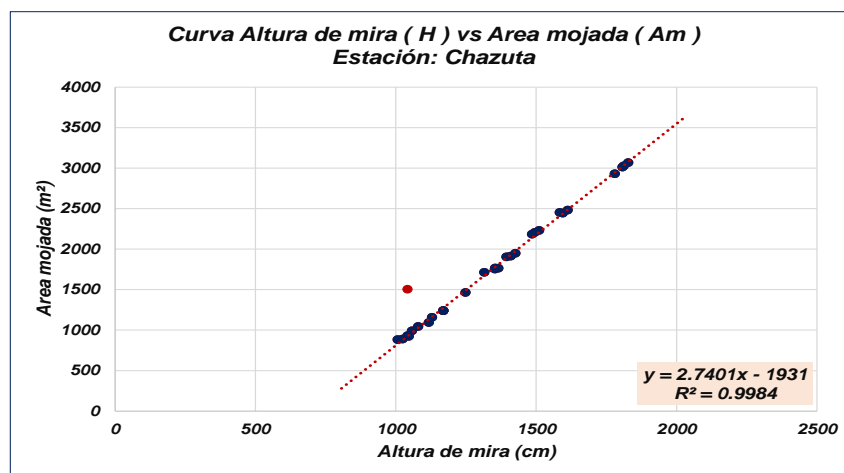


Figura 4-26 Análisis de la curva Caudal – Área mojada estación Chazuta

Fuente. Elaboración propia

- Caudal (Q) vs Velocidad superficial (Vs) y Velocidad media (Vm)

Existe una relación directa entre ambas variables, en la mayoría de los datos de aforo analizados, tal como se aprecia en la **Figura 4-27**, donde observamos como el aforo de julio de 2003, presenta una discrepancia en su ubicación en relación a los demás puntos ploteados; originando que no sea considerado en el análisis final de la obtención de la curva de ajuste que es una expresión algebraica de segundo orden y con un coeficiente de regresión de 99%.

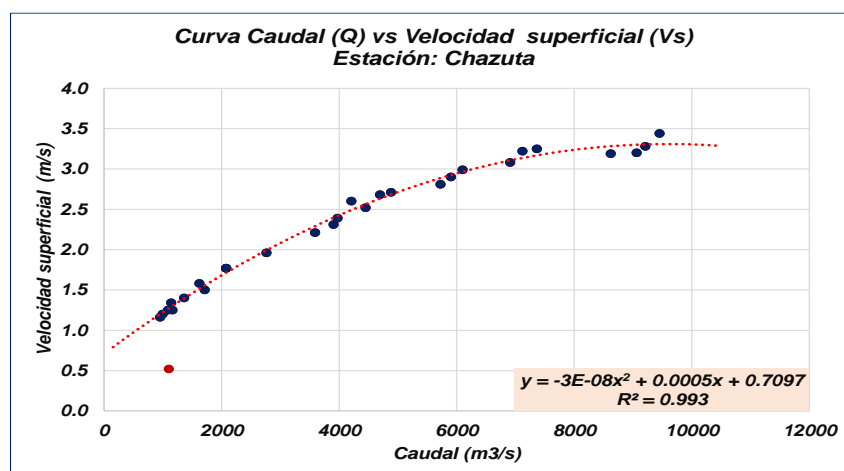


Figura 4-27. Análisis de la curva Caudal – Velocidad superficial estación Chazuta

Fuente. Elaboración propia



La **Figura 4-28**, muestra el análisis de la velocidad media de la sección, donde la distribución de los puntos plotados muestra el mismo comportamiento y tendencia en la serie, generándose el ajuste a través de una expresión algebraica de segundo grado y con un coeficiente de regresión de 99%.

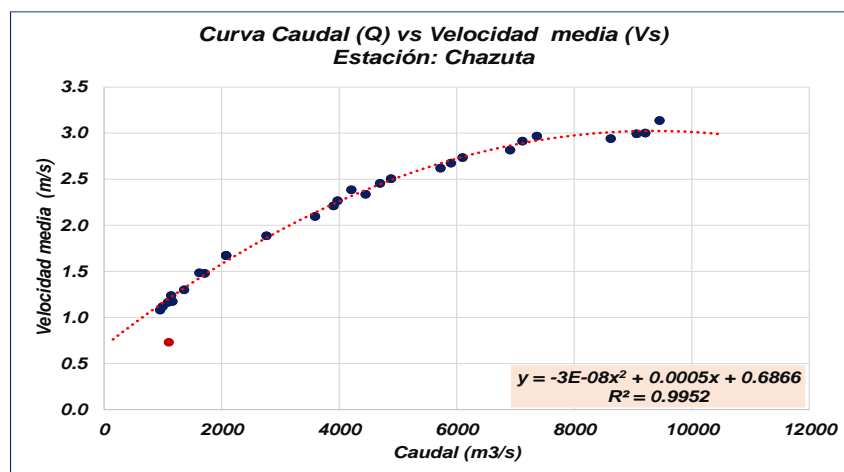


Figura 4-28. Análisis de la curva Caudal – Velocidad media estación Chazuta  
Fuente. Elaboración propia

En términos generales, y de acuerdo a los análisis obtenidos entre las distintas variables hidráulicas de la sección, podemos afirmar que el primer aforo realizado no se ajusta a la serie continua de valores obtenidos durante el período 2003/2015, por ser diferentes sección de aforo o porque el equipo no fue debidamente calibrado.

#### - Caudal (Q) vs Radio hidráulico (Rh)

Los valores plotados entre estas variables, muestran un comportamiento uniforme en su distribución, para el período comprendido entre el 2003 al 2015, para el cual se logró realizar un ajuste mediante una expresión algebraica de primer orden, tal como se aprecia en la **Figura 4-29**.

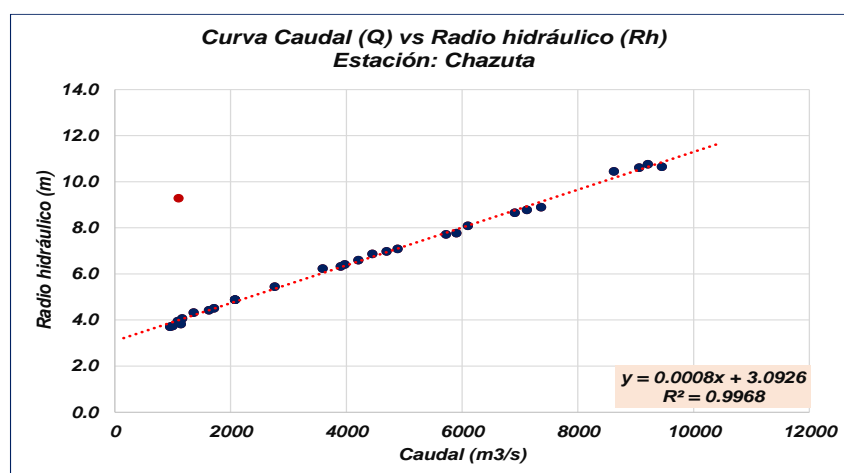


Figura 4-29. Análisis de la curva Caudal – Radio hidráulico estación Chazuta  
Fuente. Elaboración propia

Del análisis realizado para los aforos de la estación de Chazuta, se aprecia que los valores presentan comportamientos uniformes en su distribución espacial y temporal; razón por la cual, las expresiones algebraicas obtenidas reflejan la funcional entre cada una ellas, permitiendo describir no sólo las características sino inferir su tendencia.

#### 4.3.3 Estación Picota

En esta estación se realizaron un total de 30 aforos líquidos, durante 06 campañas realizadas en el período comprendido entre 2003 al 2012 (**Tabla 4-5**), permitiendo con ellos generar información hidrométrica de importancia para caracterizar el régimen hidrológico del río Huallaga en este punto de control.

Tabla 4-5. Número de aforos realizados en la estación Picota

Fechas	Números de Aforos
2003 – 05	03
2010 – 02	04
2010 – 07	05
2010 – 12	06
2011 – 06	05
2012 – 04	07
<b>Total</b>	<b>30</b>

Fuente: Elaboración propia

(datos del IRD-SENAMHI)

La información ha sido automatizada y procesada a través del software HYDRACCES, desarrollado por el Dr. Philippe Vauchel del IRD, donde se almacena toda la data generada a través de las campañas de aforo; sin embargo, se presentaron alguno inconveniente de compatibilidad con el Microsoft Office, lo que nos obligó a emigrar la información al Excel, desde donde se realizaron todos los análisis y cálculos correspondiente a caracterizar cada una de las variables hidráulicas.

En la **Tabla 4-6**, se muestra el resumen general de los valores procesados y analizados de los aforos realizados en la estación Picota, extrayéndose las variables de altura de mira, caudal, área de la sección transversal de aforo, perímetro de la sección transversal de aforo, velocidad media de la corriente, ancho promedio del río y la profundidad máxima de la sección transversal de aforo. Los caudales obtenidos fluctúan entre 1223,0 m<sup>3</sup>/s y 9715,0 m<sup>3</sup>/s, lo que nos permite obtener un promedio de 4250,0 m<sup>3</sup>/s.

Tabla 4-6. Relación de aforos realizados en la estación hidrológica de Picota - Huallaga

Día	H (cm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Velocidad (m/s)	Ancho (m)	Hmax (m)
21-May-03	1655	2563	1692	262.20	1.51	258.50	10.90
23-Feb-10	1700	3872	1948	322.00	1.99	316.40	7.04
26-Jul-10	1483	9715	1223	349.60	0.79	348.00	4.54
06-Dic-10	1712	3849	1938	323.90	1.99	319.40	6.89
21-Jun-11	1514	1253	1309	345.30	0.96	343.50	4.56
<b>Media</b>	<b>1612.8</b>	<b>4250.4</b>	<b>1622.0</b>	<b>320.6</b>	<b>1.45</b>	<b>317.16</b>	<b>6.79</b>
<b>Mínima</b>	<b>1483.0</b>	<b>1253.0</b>	<b>1223.0</b>	<b>262.2</b>	<b>0.79</b>	<b>258.50</b>	<b>4.54</b>
<b>Máxima</b>	<b>1712.0</b>	<b>9715.0</b>	<b>1948.0</b>	<b>349.6</b>	<b>1.99</b>	<b>348.00</b>	<b>10.90</b>

Fuente: Elaboración propia (Datos: SENAMHI – IRD-HYBAM (2015))

Con dicha información, se determinó las relaciones funcionales entre los parámetros hidráulicos de la sección transversal de la estación Picota:

- Altura de mira (H) vs Caudal (Q)

En el proceso de depuración de los aforos se perdieron muchos valores, razón por la cual solo trabajaremos al final con 5 aforos, generándose para ellos la presente curva altura gasto que se muestra en la **Figura 4-30**, donde apreciamos claramente como la distribución de los puntos sigue una tendencia parabólica, la cual queda representada mediante la expresión algebraica de segundo orden:

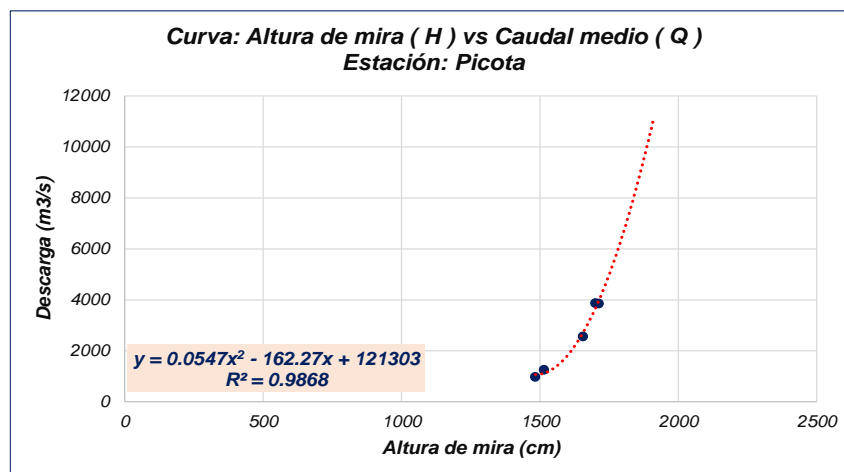


Figura 4-30 Análisis de la curva Altura de mira – Caudal Estación Picota

Fuente: Elaboración propia

- Altura de mira (H) vs Área (As)

El análisis entre las variables de altura de mira y área mojada, se representan en la **Figura 4-31**, donde la distribución de los puntos ploteados muestran un comportamiento uniforme en la

serie, permitiendo con ello generar un ajuste a través de una expresión algebraica de primer orden, y con un coeficiente de regresión de 99%.

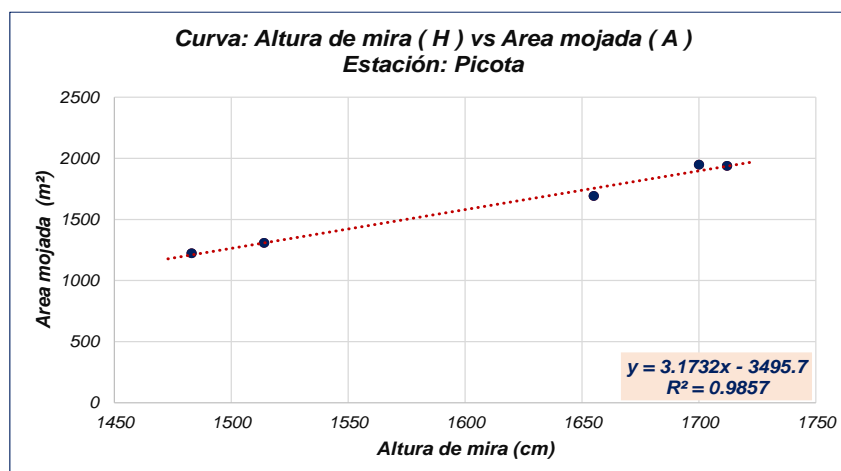


Figura 4-31. Análisis de la curva Altura de mira – Área mojada Estación Picota  
Fuente. Elaboración propia

- Altura de mira (H) vs Perímetro mojado (Pm)

Los valores ploteados para ambas variables se muestran en la **Figura 4-32**, donde apreciamos que la distribución de los valores presenta un comportamiento variables entre los aforos, especialmente en julio de 2010 y junio de 2011, valores que no se han incluido en el ajuste final (**puntos rojos**). La expresión algebraica obtenida es de primer grado y con un coeficiente de regresión de 97%.

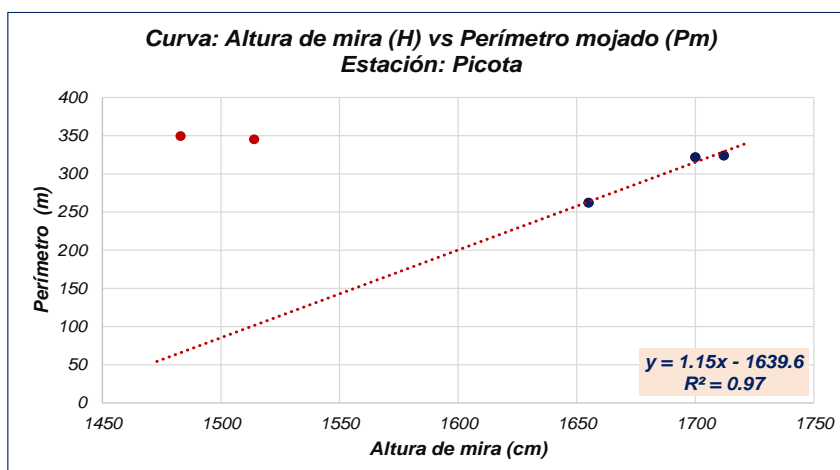


Figura 4-32. Análisis de la curva Altura de mira – Perímetro mojado estación Picota  
Fuente. Elaboración propia

- Altura de mira (H) vs Velocidad superficial (Vs) y Velocidad media (Vm)

Para la relación funcional entre la altura de mira y la velocidad superficial, se determinó que la serie de valores presentaba una distribución uniforme en su comportamiento,

permitiendo de esta manera representarla mediante una expresión algebraica de segundo grado y con un coeficiente de regresión de 96%, tal como se muestra en la (Figura 4-33).

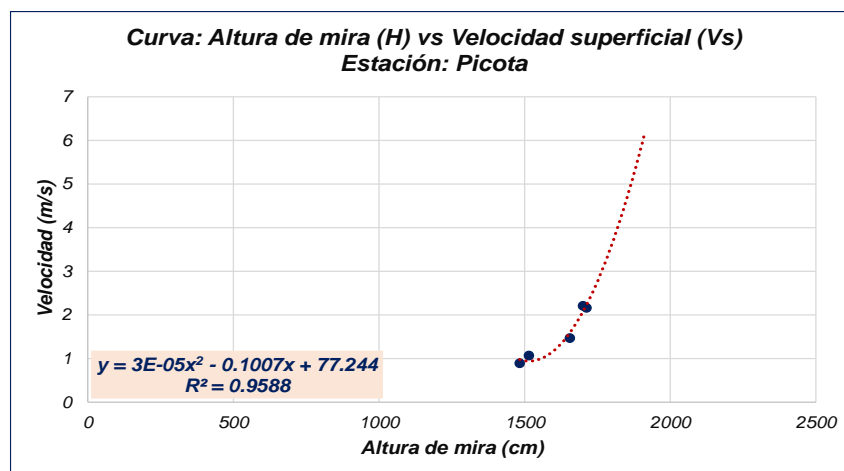


Figura 4-33 Análisis de la curva Altura de mira – Velocidad superficial Estación Picota

Fuente. Elaboración propia

Con relación a la velocidad media, la distribución de los valores planteados muestra un comportamiento uniforme en el tiempo, permitiendo ajustar una expresión algebraica de segundo grado y con un coeficiente de regresión de 99%, tal como se parecía en la Figura 4-34.

La relación entre la velocidad superficial y media, mantienen un comportamiento uniforme en un ajuste algebraico que fue de segundo grado (Figura 4-35)

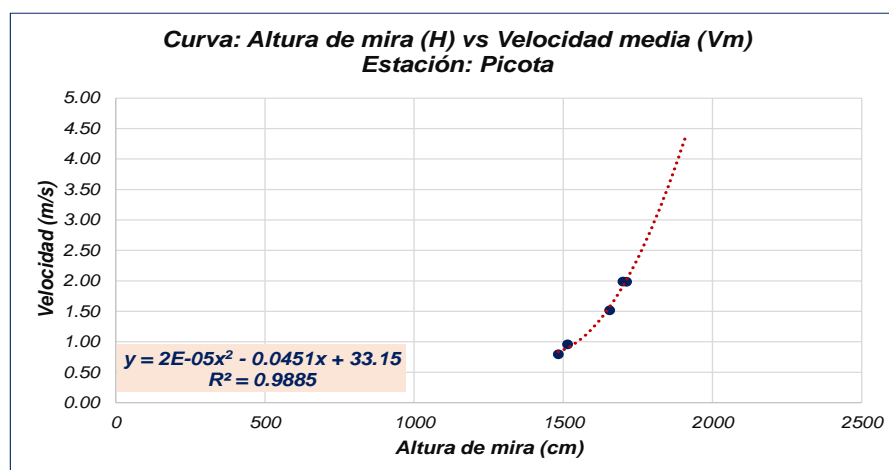


Figura 4-34. Análisis de la curva Altura de mira – Velocidad media Estación Picota

Fuente. Elaboración propia

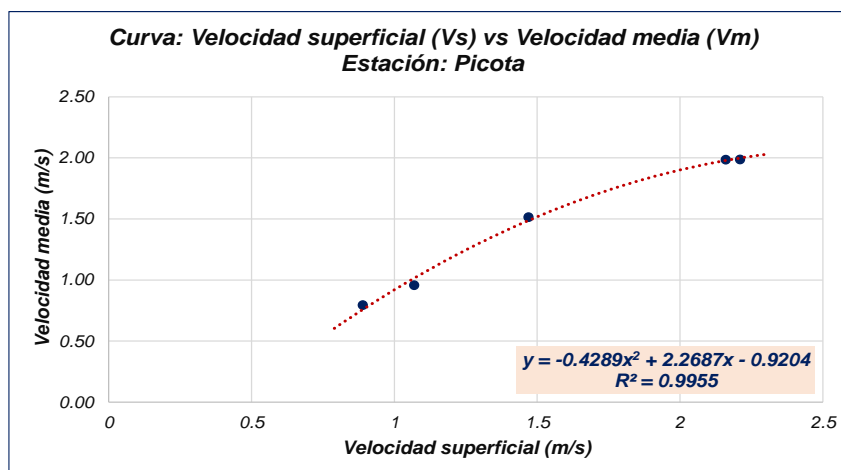


Figura 4-35. Análisis de la velocidad superficial y la velocidad media Estación Picota  
Fuente. Elaboración propia

- Altura de mira (H) vs Ancho de la sección (Ans)

Al igual que en el análisis entre la altura de mira y el perímetro mojado, la distribución de los puntos planteados para las variables de altura de mira y ancho de la sección de aforo, se ha encontrado dos puntos que generan discrepancias a la serie original; por lo cual, no fueron considerados en el ajuste final, para generar una ecuación que es de primer grado con coeficiente de regresión de 98% (Figura 4-36).

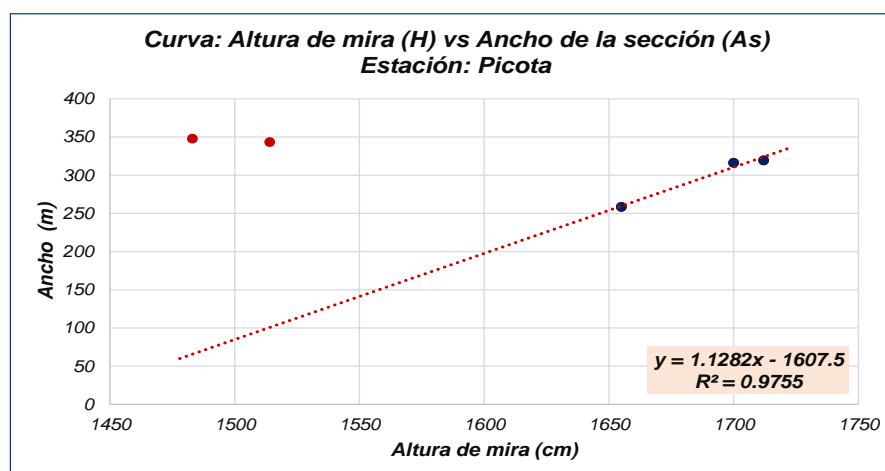


Figura 4-36 Análisis de la curva Altura de mira – Ancho de la sección Estación Picota  
Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-37**, apreciamos que la sección de aforo presenta características hidráulicas estable; a pesar que en la margen derecha e izquierda del río, hay procesos antrópicos como son la habilitación urbana y áreas agrícolas. Además, aguas abajo y aguas arriba, el río presenta bifurcaciones e islas internas que dan a entender del proceso de sedimentación que experimenta esta zona.





Figura 4-37. Sección de aforo de la estación Picota

Fuente: Elaboración propia (imagen de google)

- Altura de mira (H) vs Radio hidráulico ( $R_h$ )

Con los valores de las variables de altura de mira con el radio hidráulico (es la relación entre área de la sección transversal ( $A$ ) y el perímetro mojado de la sección ( $P$ )  $\Rightarrow R_h = A / P$ ), obtenemos la **Figura 4-38**, donde apreciamos que los datos ploteados, muestran un comportamiento uniforme en su distribución; salvo el aforo realizado en julio de 2003, valor que genera cierta discrepancia en la serie original.

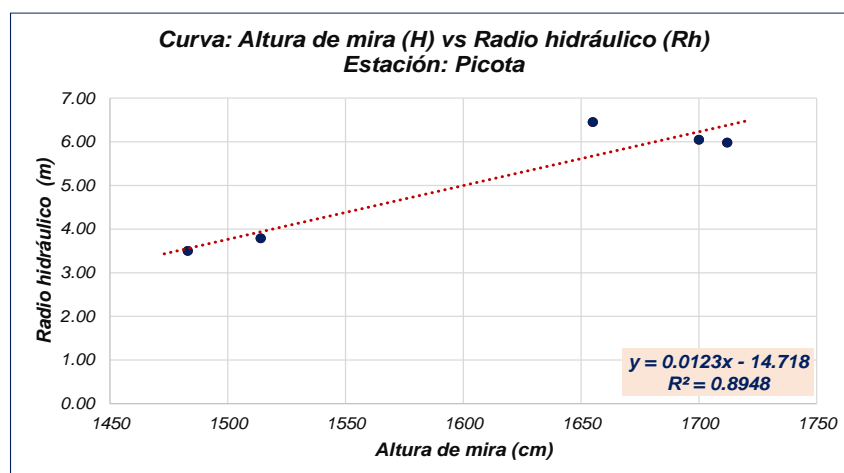


Figura 4-38. Análisis de la curva Altura de mira – Radio hidráulico Estación Picota

Fuente. Elaboración propia

El ajuste realizado a la serie de valores correspondiente a los puntos de color azul, ha permitido obtener una expresión algebraica de primer orden, con un coeficiente de regresión de 99%.

- Caudal ( $Q$ ) vs Area mojada ( $A_m$ )

En la **Figura 4-39**, se muestra el análisis entre el caudal y la sección mojada, apreciando que la distribución obtenida es uniforme y permite ser ajustada a una expresión algebraica de primer orden, con un coeficiente de regresión de 99%.

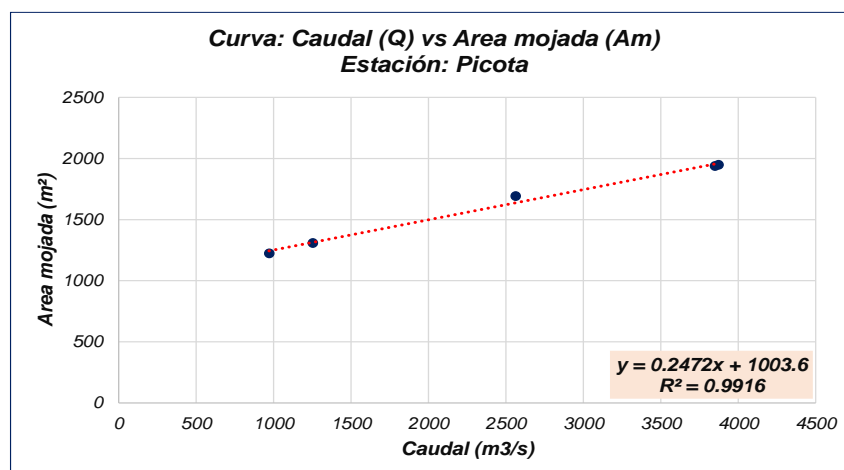


Figura 4-39 Análisis de la curva Caudal – Área mojada Estación Picota

Fuente. Elaboración propia

- Caudal (Q) vs Velocidad superficial (Vs) y Velocidad media (Vm)

Para el caso de las velocidades, tanto superficial como media, la distribución de los valores ploteados se ajustan muy bien a una expresión algebraica de primer orden, tal como se aprecia en las **Figura 4-40** y **4-41**. En ambos casos, los coeficientes de regresión obtenidos son superiores al 95%.

Esto nos indica que los aforos realizados en esta estación, representan muy bien el comportamiento entre las variables analizadas, permitiendo obtener expresiones que permitirán caracterizar su variabilidad y espacial y temporal; así como también, poder inferir una de ellas en base a los datos obtenidos por mediciones de las demás. Es importante resaltar que las únicas variables en las cuales se han encontrado discrepancias fue la relacionada al perímetro mojado y al ancho de la sección de aforo.

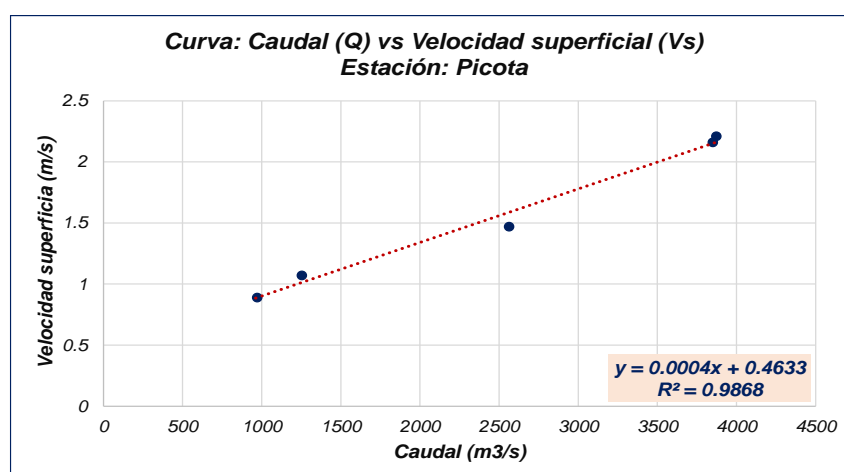


Figura 4-40. Análisis de la curva Caudal – Velocidad superficial estación Picota

Fuente. Elaboración propia

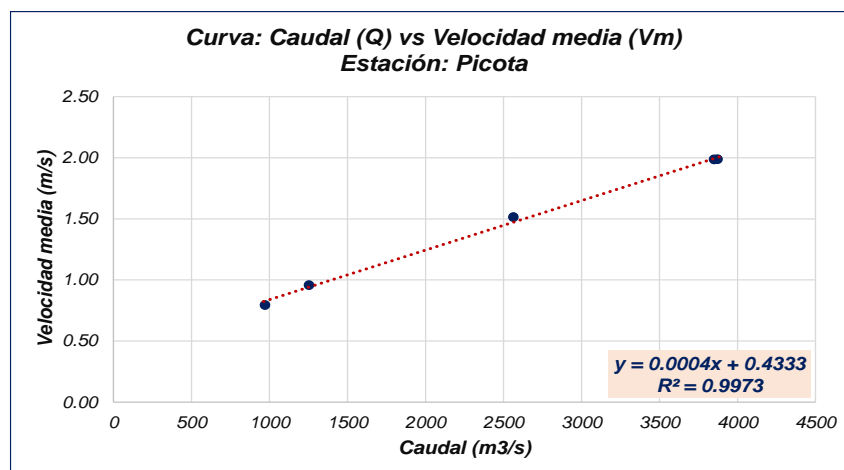


Figura 4-41. Análisis de la curva Caudal – Velocidad media Estación Picota  
Fuente. Elaboración propia

- Caudal (Q) vs Radio hidráulico (Rh)

Se puede apreciar en la **Figura 4-42**, como se relacionan ambas variables analizadas, detectándose que el primer aforo de 2003, genera un discrepancia en la serie planteada por lo cual se optó por no considerarlo en el análisis final obteniéndose una expresión algebraica de primer grado y con un coeficiente de regresión de 99%.

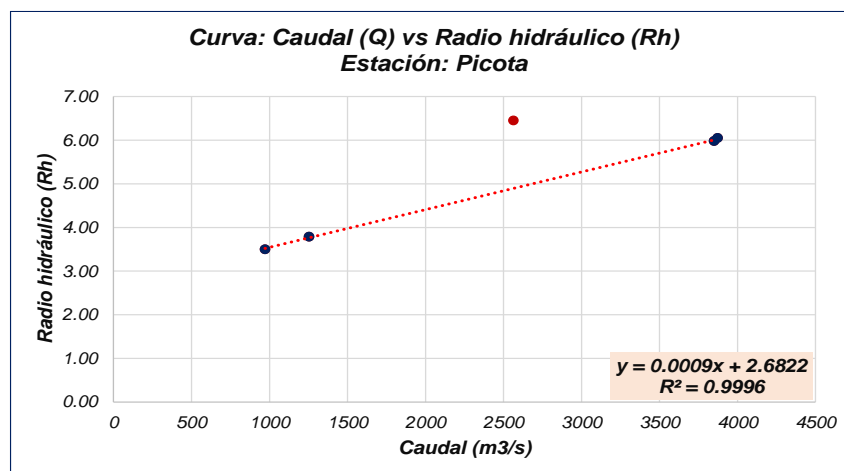


Figura 4-42. Análisis de la curva Caudal – Radio hidráulico Estación Picota  
Fuente. Elaboración propia

Los análisis realizados para los aforos de la estación de Picota, se ha determinado que de la serie de datos hay dos que presentan cierto niveles de discrepancia que alteran los ajustes preliminares, razón por la cual se consideró necesario en algunos casos no tomarlos en cuenta, con lo cual los ajustes obtenidos representan muy bien el comportamiento entre las variables.

#### 4.3.4 Estación Nueva York

Se realizaron un total de 63 aforos líquidos, durante 10 campañas realizadas en el período comprendido entre 2006 al 2009 (**Tabla 4-7**), permitiendo con ellos generar información hidrométrica de importancia para caracterizar el régimen hidrológico e hidráulico del río Corrientes en este punto de control.

Tabla 4-7. Número de aforos realizados en la estación Nueva York

Fechas	Números de Aforos
2006 – 05	02
2006 – 09	07
2007 – 02	05
2007 – 05	09
2007 – 08	08
2008 – 04	03
2009 - 02	12
2009 - 05	08
2009 – 06	05
2009 - 10	04
<b>Total</b>	<b>63</b>

Fuente: Elaboración propia

(datos del IRD-SENAMHI)

En la **Tabla 4-8**, se muestra el resumen general de los valores procesados y analizados de los aforos realizados en la estación Picota, extrayéndose las variables de altura de mira, caudal, área de la sección transversal de aforo, perímetro de la sección transversal de aforo, velocidad media de la corriente, ancho promedio del río y la profundidad máxima de la sección transversal de aforo. Los caudales obtenidos fluctúan entre 666,90 m<sup>3</sup>/s y 3815,00 m<sup>3</sup>/s, lo que nos permite obtener un promedio de 2536.99 m<sup>3</sup>/s.

Tabla 4-8 Relación de aforos realizados en la estación hidrológica de Nueva York

Día	H (cm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Velocidad (m/s)	Ancho (m)	Hmax (m)
09-May-06	800	3815.0	3286.0	274.6	1.16	268.8	14.80
29-Set-06	206	1241.0	1623.3	190.2	0.76	184.6	11.18
23-Feb-07	264	666.9	1541.0	196.9	0.43	190.8	10.80
14-May-07	726	2779.0	2492.0	210.8	1.12	202.8	15.26
24-Ago-07	249	1290.0	1694.0	192.6	0.76	187.2	11.30
05-May-08	748	2706.0	2814.0	251.2	0.96	245.0	13.66
19-Feb-09	783	3340.0	2708.0	222.0	1.23	214.0	16.44
16-May-09	903	3781.0	3120.0	232.0	1.21	222.5	19.17
30-May-09	840	3212.0	2934.0	221.7	1.09	211.7	18.82
13-Jun-09	801	3354.0	2942.0	239.9	1.14	233.1	18.37

Día	H (cm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Velocidad (m/s)	Ancho (m)	Hmax (m)
28-Oct-09	375	1722.0	2092.0	258.0	0.82	254.4	9.86
<b>Media</b>	<b>608.64</b>	<b>2536.99</b>	<b>2476.91</b>	<b>226.35</b>	<b>0.97</b>	<b>219.54</b>	<b>14.51</b>
<b>Mínima</b>	<b>206.00</b>	<b>666.90</b>	<b>1541.00</b>	<b>190.20</b>	<b>0.43</b>	<b>184.60</b>	<b>9.86</b>
<b>Máxima</b>	<b>903.00</b>	<b>3815.00</b>	<b>3286.00</b>	<b>274.60</b>	<b>1.23</b>	<b>268.80</b>	<b>19.17</b>

Fuente: Elaboración propia (Datos: SENAMHI – IRD-HYBAM (2015))

La información ha sido automatizada y procesada a través del software HYDRACCES, desarrollado por el Dr. Philippe Vauchel del IRD, donde se almacena toda la data generada a través de las campañas de aforo; sin embargo, se presentaron algunos inconveniente de compatibilidad con el Microsoft Office, lo que nos obligó a emigrar la información al Excel, desde donde se realizaron todos los análisis y cálculos correspondiente a caracterizar cada una de las variables hidráulicas.

Con dicha información, se determinó las relaciones funcionales entre los parámetros hidráulicos de la sección transversal de la estación Nueva York:

- Altura de mira (H) vs Caudal (Q)

Se trabajó con un total de 11 aforos, generándose para ellos la presente curva altura gasto que se muestra en la **Figura 4-43**, donde apreciamos claramente como la distribución de los puntos sigue una tendencia parabólica, la cual queda representada mediante la expresión algebraica de segundo orden, y con un coeficiente de regresión de 97%.

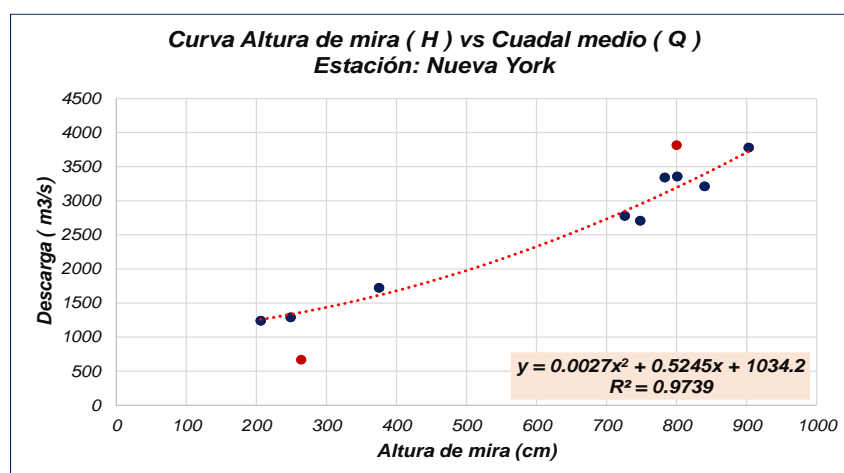


Figura 4-43. Análisis de la curva Altura de mira – Caudal estación Nueva York

Fuente: Elaboración propia

En el análisis se detectó que dos aforos presentaban cierto niveles de discrepancia (mayo/2006 y febrero/2007) con la serie original planteada, razón por la cual no fueron considerados en el ajuste final de la curva.

- Altura de mira (H) vs Área (As)

La relación funcional entre las variables de altura de mira y área mojada, se representa en la **Figura 4-44**, donde la distribución de los puntos ploteados muestran un comportamiento uniforme en la serie, permitiendo con ello generar un ajuste a través de una expresión algebraica de primer orden, y con un coeficiente de regresión de 96%. Los aforos registrados los día nueve de mayo de dos mil seis (09/05/2006) y catorce de mayo de dos mil seis (14/05/2006), no fueron considerados en el ajuste final, por registrar cierto nivel de discrepancia con la distribución de los puntos originales, generándose una ecuación más representativa entre las variables.

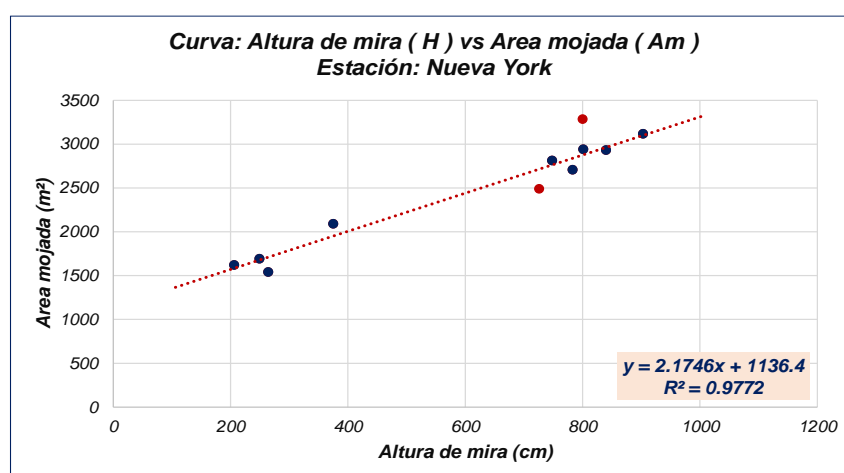


Figura 4-44. Análisis de la curva Altura de mira – Área mojada estación Nueva York  
Fuente. Elaboración propia

- Altura de mira (H) vs Perímetro mojado (Pm)

Los valores ploteados se muestran en la **Figura 4-45**, donde apreciamos que la distribución de los valores presenta un comportamiento variables entre los aforos, especialmente en mayo de 2006 y mayo de 2008, valores que no se han incluido en el ajuste final (**puntos rojos**). La expresión algebraica obtenida es de primer grado y con un coeficiente de regresión de 85%.

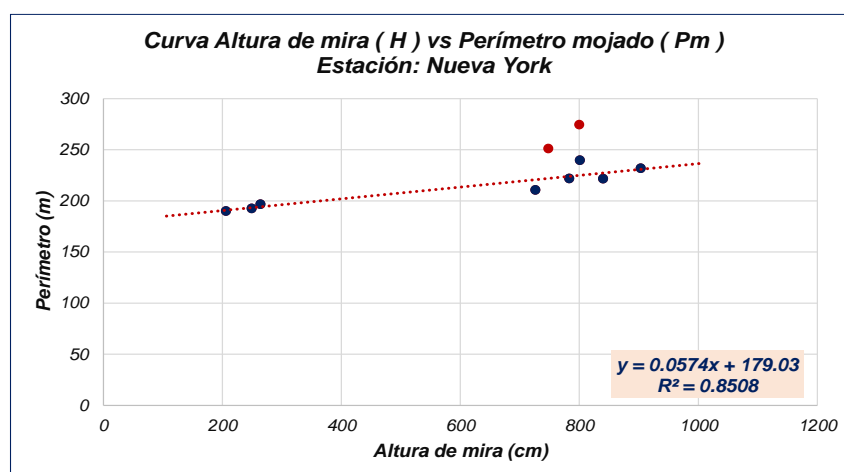


Figura 4-45. Análisis de la curva Altura de mira – Perímetro mojado estación Nueva York  
Fuente. Elaboración propia



- Altura de mira (H) vs Velocidad superficial (Vs) y Velocidad media (Vm)

La relación funcional entre la altura de mira y la velocidad superficial, se determinó en función a la variabilidad de los valores plotados, los cuales muestran una distribución bastante dispersa, lo que originó que para poder representar un patrón de comportamiento se obtuvieran tres tipos de curvas de primer grado.

- **Color rojo**, explica el comportamiento de los años 2007 y 2009
- **Color verde**, explica el comportamiento de los años 2006 y 2007
- **Color negra**, explica el comportamiento de toda la serie original

Los resultados se pueden apreciar en la **Figura 4-46**.

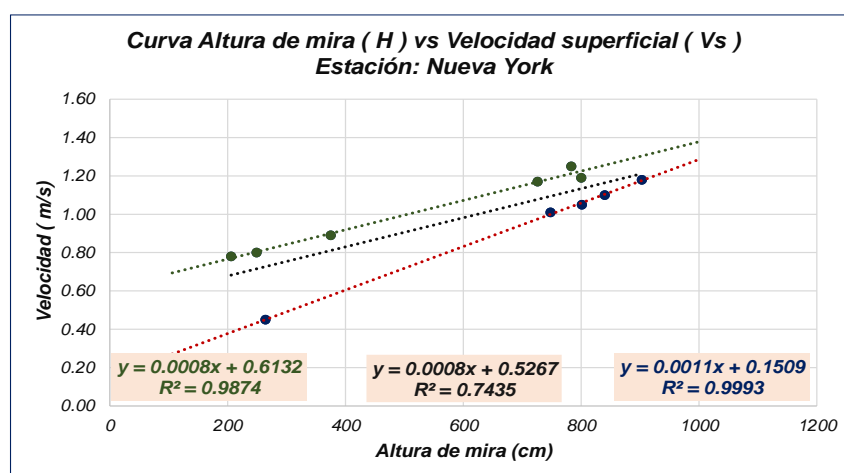


Figura 4-46. Análisis de la curva Altura de mira – Velocidad superficial estación Nueva York  
Fuente. Elaboración propia

Con relación a la velocidad media, la distribución de los valores plotados muestra un comportamiento similar a la velocidad superficial, cuyo comportamiento también ha sido representada a través de tres expresiones algebraicas como se muestra en la **Figura 4-47**.

- **Color rojo**, explica el comportamiento de los años 2007 y 2009
- **Color verde**, explica el comportamiento de los años 2006 y 2007
- **Color negra**, explica el comportamiento de toda la serie original

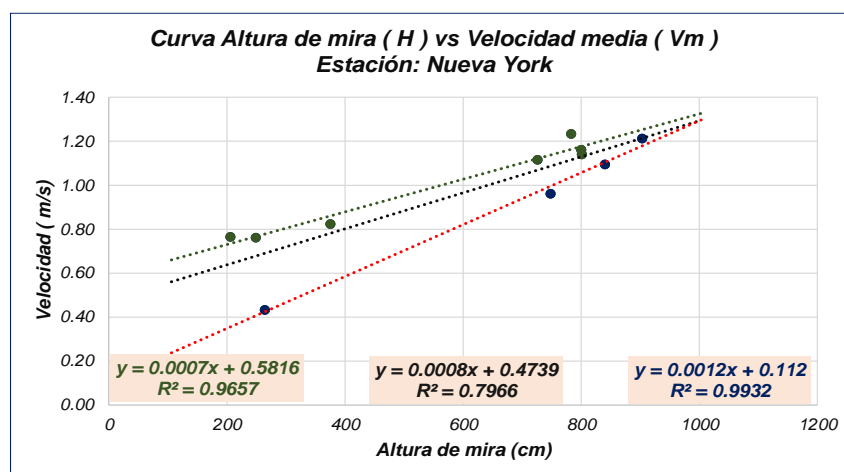


Figura 4-47. Análisis de la curva Altura de mira – Velocidad media estación Nueva York  
Fuente. Elaboración propia

La relación funcional entre ambas velocidades (superficial y media), muestra en una distribución uniforme entre sus valores lo que ha permitido representar dicho comportamiento y tendencia a través de una expresión algebraica de primer grado y obteniendo un coeficiente de regresión de 97%, tal como se muestra en la **Figura 4-48**.

A pesar que el aforo realizado el trece de junio de dos mil nueve (13/06/2009), muestra una ligera discrepancia en la serie, este valor fue considerado en el ajuste final de la curva generada.

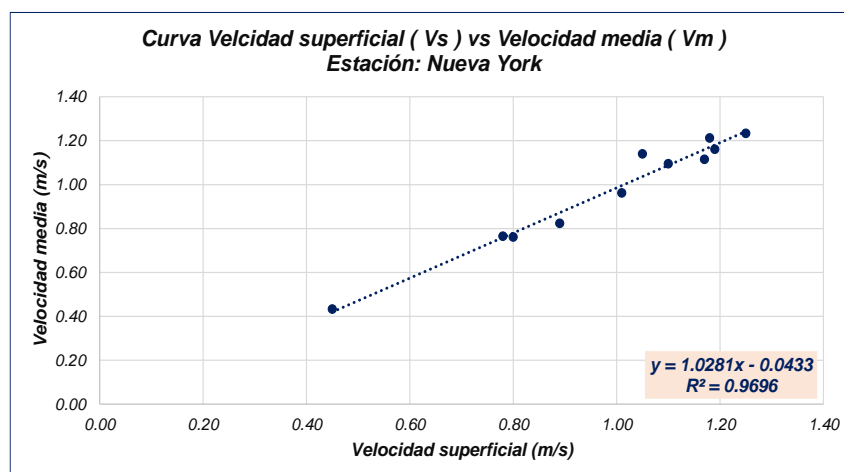


Figura 4-48. Análisis de la velocidad superficial y la velocidad media estación Nueva York  
Fuente. Elaboración propia

#### - Altura de mira (H) vs Ancho de la sección (As)

El análisis entre la altura de mira y el ancho de la sección, muestra en sus valores una distribución variable en el comportamiento de los valores ploteados, identificándose que los aforos de los años 2006 y 2008, registran discrepancias muy significativas dentro de la serie de datos, tal como se aprecia en la **Figura 4-49**.

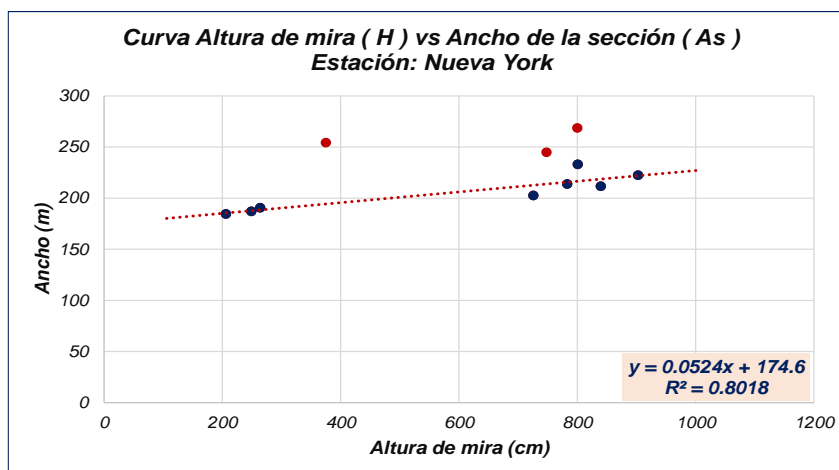


Figura 4-49. Análisis de la curva Altura de mira – Ancho de la sección estación Nueva York  
Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-50**, apreciamos que la sección de aforo ubicada en el río Tigre, el cual presenta características hidráulicas estable; debido a que ambos márgenes del río (derecha e izquierda) presentan cobertura vegetal típica de la zona la cual da estabilidad en los temas de erosión hídrica por acción de la precipitación.



Figura 4-50. Sección de aforo de la estación Nueva York  
Fuente: Elaboración propia (imagen de google)

- Altura de mira (H) vs Radio hidráulico (Rh)

Con las variables altura de mira y radio hidráulico (es la relación entre área de la sección transversal (A) y el perímetro mojado de la sección (P)  $\Rightarrow R_h = A / P$ ), obtenemos la **Figura 4-51**, donde se aprecia que los datos planteados, muestran un comportamiento uniforme en su

distribución, permitiendo generar una ecuación algebraica de primer grado con un coeficiente de regresión de 94%.

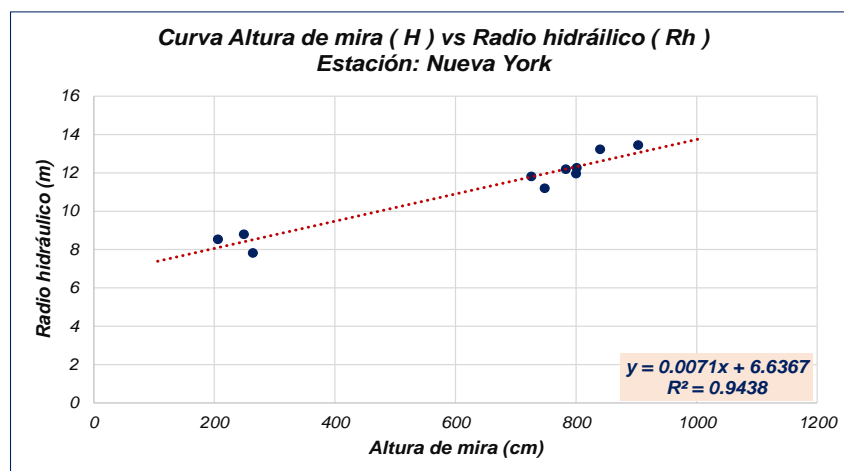


Figura 4-51. Análisis de la curva Altura de mira – Radio hidráulico estación Nueva York

Fuente. Elaboración propia

- Caudal (Q) vs Área mojada (Am)

En la **Figura 4-52**, se muestra el análisis entre el caudal y la sección mojada, apreciando que la distribución obtenida es uniforme y permite ser ajustada a una expresión algebraica de primer orden, con un coeficiente de regresión de 98%.

A pesar de la variabilidad que se registran en los valores ploteados, apreciamos que todos ellos llevan una misma tendencia lineal; sin embargo, consideramos importante discretizar aquellos puntos que pudiera alterar esta tendencia, identificándose a los aforos registrados en mayo de 2008 y febrero de 2009, los cuales se ubican en los extremos de la curva de tendencia ajustada (puntos de color rojo). Otro detalle que resalta es que el aforo de febrero presenta un mayor caudal y menor área, y el aforo de mayo registra menor caudal y mayor área.

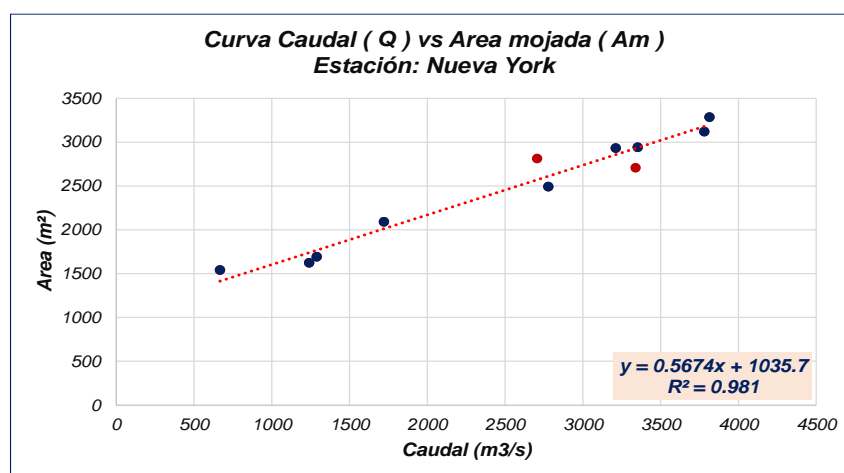


Figura 4-52 Análisis de la curva Caudal – Área mojada estación Nueva York

Fuente. Elaboración propia

- Caudal (Q) vs Velocidad superficial (Vs) y Velocidad media (Vm)

Para el caso de las velocidades, tanto superficial como media, la distribución de los valores ploteados se ajustan muy bien a una expresión algebraica de segundo orden, tal como se aprecia en las **Figuras 4-53 y 4-54**. En ambos casos, los coeficientes de regresión obtenidos son superiores al 99%.

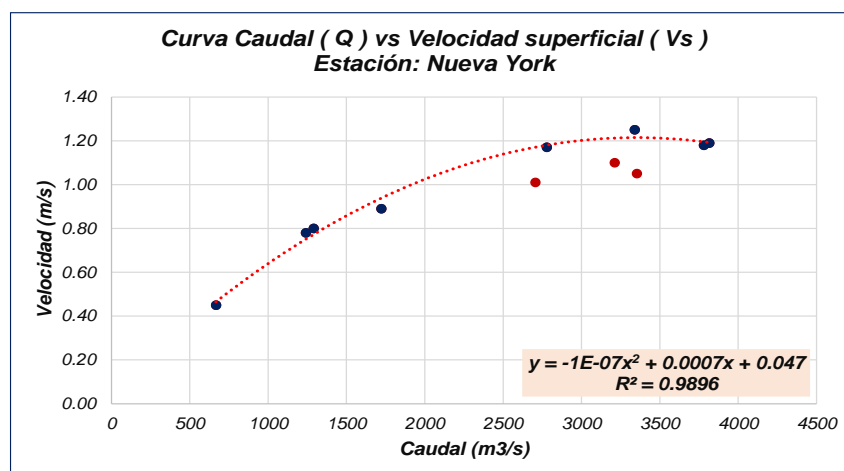


Figura 4-53. Análisis de la curva Caudal – Velocidad superficial estación Nueva York  
Fuente. Elaboración propia

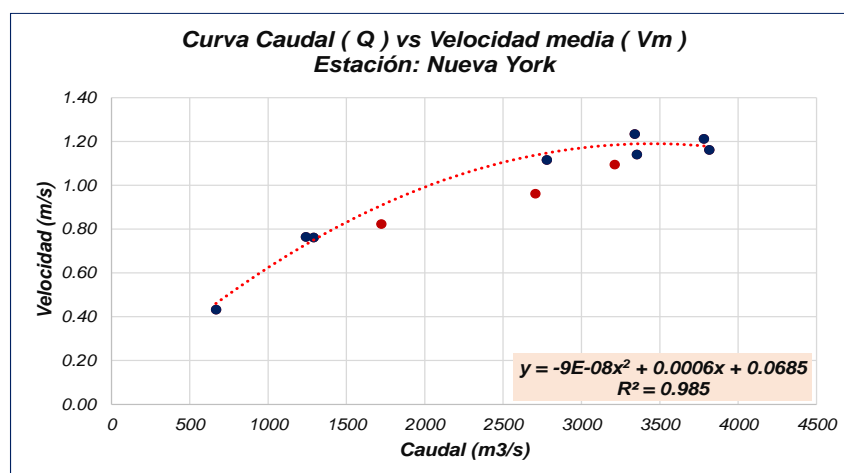


Figura 4-54 Análisis de la curva Caudal – Velocidad media estación Nueva York  
Fuente. Elaboración propia

En ambos casos, se aprecia que en la serie de puntos ploteados hay valores que generan ciertos niveles de discrepancias muy significativas, que han tenido que ser dejados de lado en la obtención de la curva de ajuste:

- Para la velocidad superficial, los aforos registrados en mayo de 2008, mayo de 2009 y junio de 2009, son los que presentan discrepancias significativas.
- Para la velocidad media, los aforos registrados en mayo de 2008, mayo de 2009 y octubre de 2010, los cuales presentaron ciertos niveles de discrepancias en la serie.

En ambos caos, los puntos observados (puntos de color rojo) se ubican por debajo de la curva de ajuste teórica, lo que indica que sus valores estas subvalorados.

- Caudal (Q) vs Radio hidráulico (Rh)

En la **Figura 4-55**, se muestra la relación funcional entre ambas variables, detectándose en la serie ciertos valores que generan discrepancias significativas a la serie original; razón por la cual, no fueron considerados en el ajuste final.

Dichos aforos identificados son: mayo de 2006, mayo de 2009 y octubre de 2010; los cuales se ubican por debajo de la curva ajustada.

La curva representativa tiene un coeficiente de regresión de 99%.

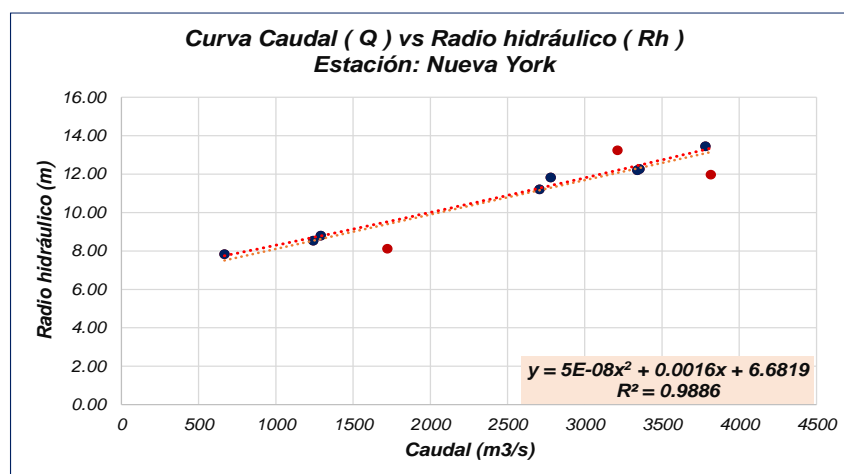


Figura 4-55. Análisis de la curva Caudal – Radio hidráulico estación Nueva York

Fuente. Elaboración propia

Los análisis realizados para los aforos de la estación de Nueva York, mostraron na variabilidad en su distribución identificándose que los valores obtenidos en mayo y octubre presentan ciertos niveles de discrepancias, en relación con la serie original. Dichas discrepancias pudieran haberse debido ha:

- Variabilidad de la regla limnimétrica, lo que originaría que se esté subestimando los valores.
- Otro factor pudiera ser el proceso de erosión que experimentaría el río

#### 4.3.5 Estación San Regis

Se realizaron un total de 181 aforos líquidos, durante 51 campañas realizadas en el período comprendido entre 2003 al 2015 (**Tabla 4-9**), permitiendo con ellos generar información hidrométrica de importancia para caracterizar el régimen hidrológico e hidráulico del río Marañón en este punto de control.



Tabla 4-9. Número de aforos realizados en la estación San Regis

Fechas	Números de Aforos
2003 – 05	05
2003 – 08	09
2003 – 10	04
2004 – 01	04
2004 – 04	07
2004 – 06	04
2004 - 09	09
2005 - 04	12
2005 – 08	04
2005 - 10	04
2006 - 02	07
2006 – 05	09
2006 – 09	07
2007 – 02	04
2007 – 05	06
2007 – 08	05
2008 – 04	07
2008 – 10	11
2008 – 11	20
2008 – 12	16
2009 – 02	10
2009 – 05	27
2009 – 06	12
2009 – 10	03
2010 – 06	04
2010 – 10	04
2011 – 03	06
2011 – 07	04
2011 – 11	05
2012 – 02	07
2012 – 04	12
2012 – 09	05
2013 – 04	07
2013 – 12	06
2014 – 06	04
2014 – 11	05
2015 – 03	07
<b>Total</b>	<b>181</b>

Fuente: Elaboración propia

(datos del IRD-SENAMHI)

En la **Tabla 4-10**, se muestra el resumen general de los valores procesados y analizados de los aforos realizados en la estación San Regis, extrayéndose las variables de altura de mira, caudal, área de la sección transversal de aforo, perímetro de la sección transversal de aforo, velocidad media de la corriente, ancho promedio del río y la profundidad máxima de la sección transversal de aforo.

Los caudales obtenidos fluctúan entre 6467,00 m<sup>3</sup>/s y 26560,00 m<sup>3</sup>/s, lo que nos permite obtener un promedio de 18140,49 m<sup>3</sup>/s.

Tabla 4-10. Relación de aforos realizados en la estación hidrológica de San Regis

Día	H (cm)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Velocidad (m/s)	Ancho (m)	Hmax (m)
16-May-03	1062	22510.00	13070.00	735.40	1.72	721.20	22.16
6-Aug-03	608	12840.00	10330.00	703.20	1.24	694.80	17.81
26-Oct-03	503	10290.00	9243.00	696.70	1.11	689.20	16.32
24-Jan-04	811		10960.00	702.20	1.23	693.30	19.61
24-Apr-04	843	16100.00	10830.00	704.00	1.49	693.30	18.70
20-Jun-04	967		11920.00	710.40	1.96	697.70	21.03
13-Sep-04	612	12990.00	10140.00	714.20	1.28	705.60	16.87
3-Apr-05	974	20050.00	12400.00	724.30	1.62	711.50	21.66
7-Aug-05	487	9881.00	8889.00	701.40	1.11	694.50	15.25
6-Oct-05	294	6467.00	7482.00	697.80	0.86	692.60	13.11
18-Oct-05	462	9660.00	8593.00	687.40	1.12	681.00	14.89
13-Feb-06	1093	24220.00	13450.00	797.80	1.80	787.30	22.57
8-May-06	1190	23460.00	13580.00	728.70	1.73	714.70	23.06
26-Sep-06	410	7880.00	8552.00	729.20	0.92	723.10	16.07
30-Sep-06	444	8499.00	8625.00	699.20	0.99	693.10	15.64
22-Feb-07	743	13090.00	10650.00	710.70	1.23	703.30	19.16
14-May-07	1044	22760.00	13290.00	719.80	1.71	709.50	23.85
23-Aug-07	457	10270.00	9076.00	690.10	1.13	684.50	16.99
27-Apr-08	1167	23620.00	13920.00	724.10	1.70	714.00	23.68
28-Apr-08	1166	23400.00	13990.00	730.50	1.67	719.50	23.83
31-Oct-08	674	14220.00	10230.00	705.40	1.39	697.80	17.37
12-Nov-08	848	17690.00	11280.00	714.90	1.57	705.40	19.00
26-Nov-08	733	14670.00	10140.00	710.10	1.45	700.70	17.71
26-Nov-08	733	14670.00	10140.00	710.10	1.45	700.70	17.71
10-Dec-08	838	17680.00	10860.00	711.10	1.63	701.10	18.64
10-Dec-08	838	17510.00	10830.00	711.20	1.62	701.30	18.60
17-Feb-09	1108	24070.00	12450.00	726.90	1.93	714.10	21.89
15-May-09	1262	25650.00	14510.00	740.40	1.77	729.90	25.22

16-May-09	1261	25670.00	14670.00	736.00	1.75	725.60	25.61
17-May-09	1267.5	25870.00	14600.00	734.30	1.77	723.70	25.45
18-May-09	1266	25750.00	14620.00	739.80	1.76	728.70	25.35
27-May-09	1238	25230.00	14610.00	733.60	1.73	720.80	25.44
29-May-09	1233	25240.00	14740.00	735.40	1.71	723.80	25.72
13-Jun-09	1139	22890.00	14170.00	745.20	1.62	727.20	25.30
13-Jun-09	1135	22820.00	14110.00	739.90	1.62	731.20	24.51
28-Oct-09	681	13610.00	10770.00	721.80	1.26	713.10	19.55
8-Jun-10	935	18870.00	12180.00	723.20	1.55	709.30	21.00
29-Oct-10	342	6666.00	7545.00	716.00	0.88	712.00	14.08
29-Oct-10	342	6666.00	7545.00	716.00	0.88	712.00	14.08
29-Oct-10	342	6666.00	7545.00	716.00	0.88	712.00	14.08
12-Mar-11	987	20080.00	11070.00	744.50	1.81	734.00	20.60
12-Mar-11	987	20080.00	11060.00	744.50	1.82	734.00	20.60
12-Mar-11	987	20080.00	11060.00	744.50	1.82	734.00	20.60
20-Jul-11	883	18920.00	11540.00	726.70	1.64	711.80	20.46
23-Nov-11	760	16800.00	9991.00	740.70	1.68	727.80	19.38
11-Feb-12	1152	25470.00	12210.00	752.00	2.09	745.10	21.69
13-Apr-12	1358	26560.00	14960.00	757.90	1.78	744.00	25.14
20-Apr-12	1361	26360.00	14900.00	755.60	1.77	742.90	25.82
11-Sep-12	486	8701.00	8612.00	698.30	1.01	693.30	15.89
28-Apr-13	1257	25100.00	13520.00	747.10	1.86	735.50	21.80
16-Dec-13	889	17970.00	10640.00	735.70	1.69	721.70	17.51
17-Jun-14	1023	20900.00	12930.00	754.30	1.62	737.20	22.12
6-Nov-14	719	14590.00	10140.00	738.80	1.44	729.60	17.73
14-Mar-15	1227	25670.00	14050.00	794.00	1.83	764.40	23.73
Medio	886.12	18140.49	11557.60	726.47	1.52	716.06	20.25
Mínimo	294.00	6467.00	7482.00	687.40	0.86	681.00	13.11
Máximo	1361.00	26560.00	14960.00	797.80	2.09	787.30	25.82

Fuente: Elaboración propia (Datos: SENAMHI – IRD-HYBAM (2015))

La información ha sido automatizada y procesada a través del software HYDRACCES, desarrollado por el Dr. Philippe Vouchel del IRD, donde se almacena toda la data generada a través de las campañas de aforo; sin embargo, se presentaron algunos inconveniente de compatibilidad con el Microsoft Office, lo que nos obligó a emigrar la información al Excel, desde donde se realizaron todos los análisis y cálculos correspondiente a caracterizar cada una de las variables hidráulicas.

Con dicha información, se determinó las relaciones funcionales entre los parámetros hidráulicos de la sección transversal de la estación San Regis:

- Altura de mira (H) vs Caudal (Q)

Se trabajó con un total con toda la información de aforos, cuyos valores fueron plotados, tal como se muestra en la **Figura 4-56**, donde apreciamos como la distribución de los valores sigue una mismo comportamiento y tendencia; permitiendo de esta manera, ajustar una expresión algebraica de primer grado y con un coeficiente de regresión de 99%.

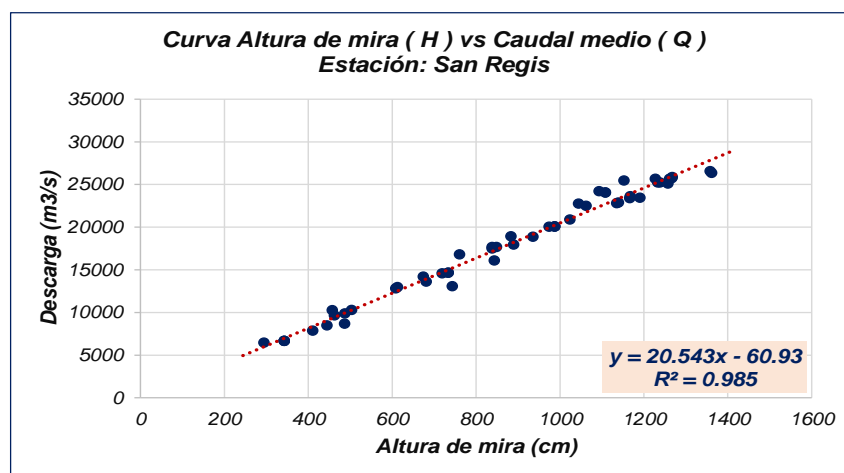


Figura 4-56. Análisis de la curva Altura de mira – Caudal estación San Regis

Fuente: Elaboración propia

A pesar que los valores muestras cierto comportamiento variable en su distribución, consideramos que estos no generan distorsión significativa en el comportamiento de los aforos, a nivel temporal

- Altura de mira (H) vs Área (As)

La relación funcional entre las variables de altura de mira y área mojada, se representa en la **Figura 4-57**, donde la distribución de los puntos plotados muestra un comportamiento variable en su distribución; generando ciertos niveles de discrepancia (puntos rojos) que alteran la representación algebraica de la función de primer grado.

Los puntos discrepantes de la serie original no fueron considerados a la hora de generar el ajuste teórico de la ecuación cuyo coeficiente de regresión es de 98%.

Los valores discrepantes, son los aforos realizados en agosto de 2003, febrero de 2009, octubre de 2010, marzo de 2011, noviembre de 2011, febrero de 2012, abril de 2012 y diciembre de 2011; los cuales se ubican por debajo de la curva, indicándonos que dichos valores pudieran haber sido afectado por un procesos de sedimentación en la sección del río.

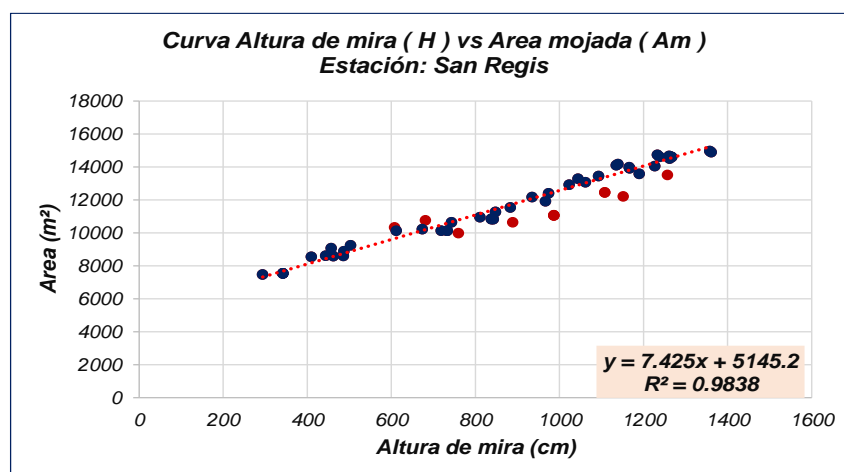


Figura 4-57. Análisis de la curva Altura de mira – Área mojada estación San Regis  
Fuente. Elaboración propia

- Altura de mira (H) vs Perímetro mojado (Pm)

En la **Figura 4-58**, se muestran los valores ploteados de las variables analizadas, apreciándose que ellas presentan una gran variabilidad en su distribución, lo que no permite obtener una buena expresión algebraica que nos represente el comportamiento temporal entre dichas. Aquellos puntos discrepantes de la serie original no han sido considerados en la obtención de la función matemática, logrando alcanzar un coeficiente de regresión de 96%.

Los puntos identificados con el color rojo, son los más discrepantes, por presentar un comportamiento muy variable en su distribución, lo que pudo deberse a la falta de una horizontalidad perpendicular al momento de realizar el aforo con la embarcación, generándose un ángulo que origina que el perímetro varíe significativamente.

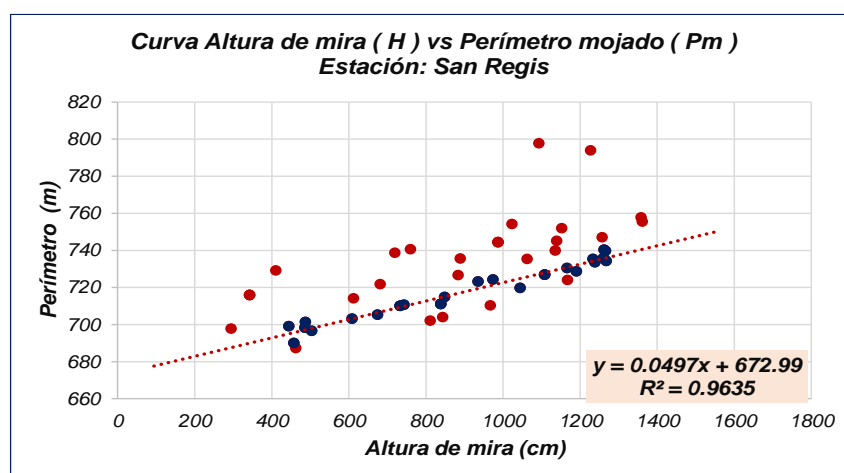


Figura 4-58. Análisis de la curva Altura de mira – Perímetro mojado Estación San Regis  
Fuente. Elaboración propia

Otro aspecto que pudiera interpretar la gran variabilidad de la serie de puntos es que para una misma altura de mira hay diferentes perímetros, lo que nos indicaría que la sección está

expuesta permanentemente a procesos de erosión y colmatación, originando estos cambios hidráulicos en el cauce principal del río.

- Altura de mira (H) vs Velocidad superficial (Vs) y Velocidad media (Vm)

La distribución de los valores de datos plotados entre la altura de mira y la velocidad superficial, no ha permitido apreciar que el comportamiento es muy variable especialmente en el rango de valores de alturas de mira de 600 cm a 1200 cm, tal como se aprecia en la **Figura 4-59**.

La discrepancia de los valores existente en la serie de datos (puntos rojos), nos indicaría que las líneas de corrientes tienen un régimen turbulento durante los procesos de aforos realizado en las fechas: enero, abril, mayo, junio, setiembre, octubre, noviembre y diciembre, en los años 2003, 2004, 2007, 2008, 2009, 2011 y 2012.

A pesar de estos niveles de discrepancias, se logró realizar un ajuste a la serie de datos (punto de color azul, 34 aforos), a través de una expresión algebraica de segundo grado, obteniéndose un coeficiente de regresión de 98%.

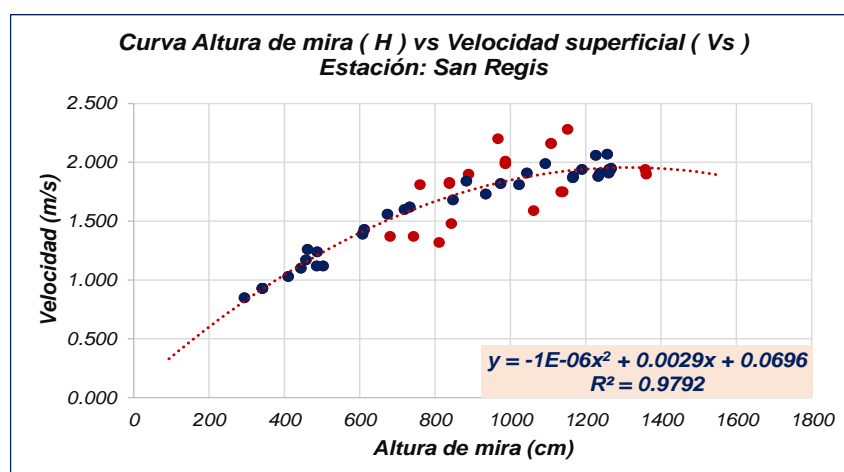


Figura 4-59. Análisis de la curva Altura de mira – Velocidad superficial  
Fuente. Elaboración propia

Con relación a la velocidad media, la distribución de los valores plotados muestra un comportamiento similar a la velocidad superficial; sin embargo, la aleatoriedad en la distribución no es muy generalizada, lo que ha permitido ajustar una expresión algebraica de segundo grado con un coeficiente de regresión de segundo grado, tal como se aprecia en la **Figura 4-60**.

Los puntos rojos identificados corresponden a los años 2004, 2008, 2011, 2013, para los meses de diciembre, febrero, marzo.

Al relacionar ambas variables: velocidad superficial y media, registradas en la sección de aforo apreciamos que el comportamiento entre ellas queda muy bien representada por una



expresión algebraica de primer grado y con un coeficiente de regresión de 98%, tal como se aprecia en la **Figura 4-61**.

En la serie planteada, se ha podido identificar dos puntos ligeramente con tendencia discrepante, que corresponde a los años 2003 y 2004 correspondiente a los primeros aforos realizado en la estación de San Regis.

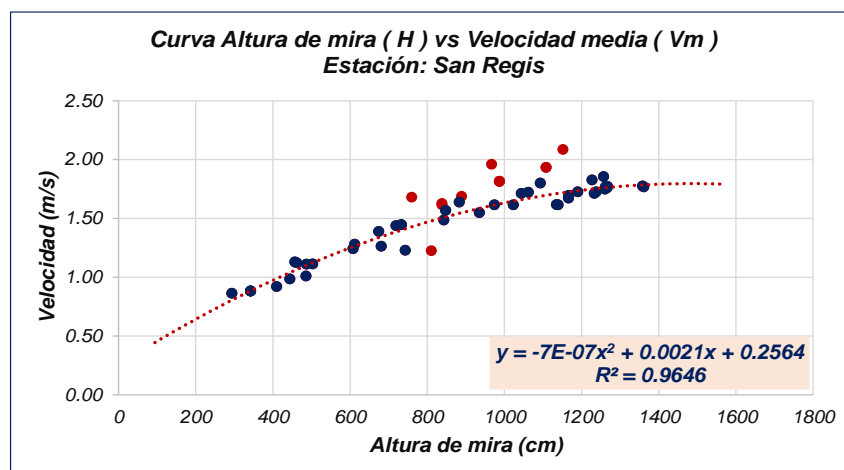


Figura 4-60. Análisis de la curva Altura de mira – Velocidad media  
Fuente. Elaboración propia

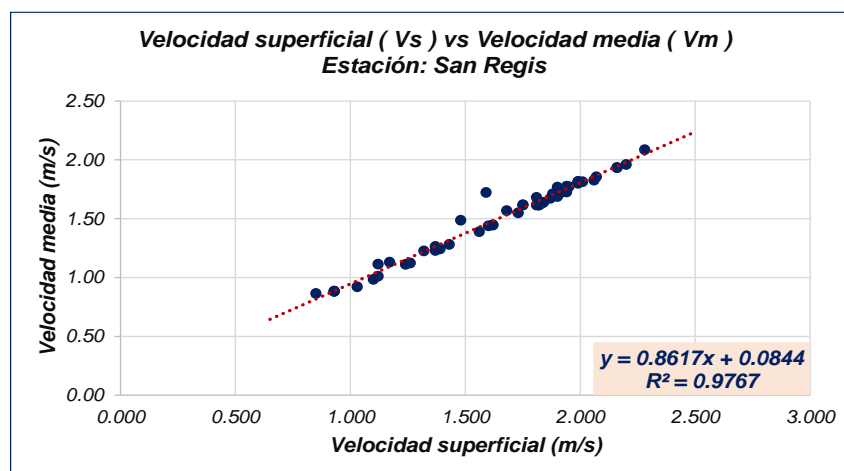


Figura 4-61. Análisis de la velocidad superficial y la velocidad media  
Fuente. Elaboración propia

#### - Altura de mira (H) vs Ancho de la sección (As)

Al buscar relacionar ambas variables, se observó que las serie de valores mostraba una fuerte dispersión en su distribución temporal, que origino la necesidad de identificarlos y seleccionarlos de tal manera que no sean considerados en los análisis finales para determinar el ajuste de una curva algebraica de primer grado, tal como apreciamos en la **Figura 4-62**.

Los puntos de color rojo, corresponde a los aforos realizados durante los años 2004, 2005, 2006, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013; siendo el aforo registrado en febrero de 2006 el que mayor discrepancia presenta de la serie.

En la **Figura 4-63**, apreciamos que la sección de aforo ubicada en el río Marañón estación San Regis, presenta características hidráulicas estable; debido a que ambas márgenes del río (derecha e izquierda) presentan cierto nivel de cobertura vegetal típica de la zona con ligeros procesos de intervención antrópica, que dan cierto grado de estabilidad en los temas de erosión hídrica por acción de la precipitación y del escurrimiento superficial que se generan en la cuenca. La sección está ubicada aguas arriba de un centro poblado.

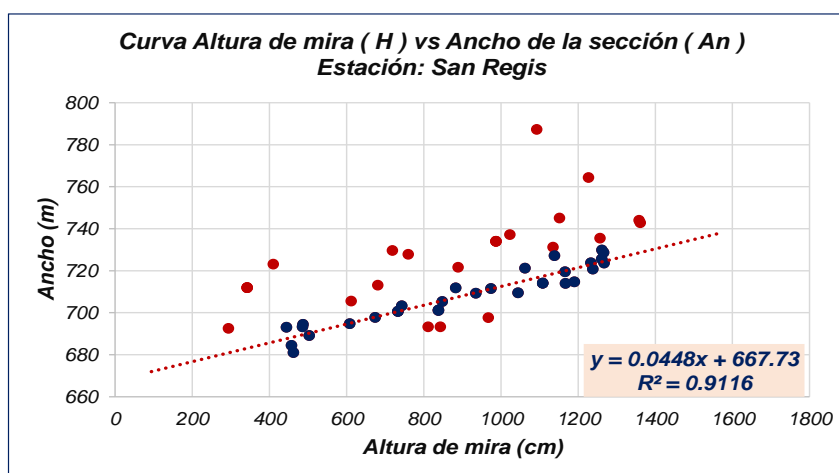


Figura 4-62. Análisis de la curva Altura de mira – Ancho de la sección  
Fuente. Elaboración propia



Figura 4-63. Sección de aforo de la estación San Regis  
Fuente: Elaboración propia (imagen de google)

- Altura de mira (H) vs Radio hidráulico (Rh)

Los valores de altura de mira y radio hidráulico (es la relación entre área de la sección transversal (A) y el perímetro mojado de la sección (P) =>  $R_h = A / P$ ), fueron plotado, para

conocer la relación funcional entre ellas y poder representarlas mediante alguna expresión algebraica. En la **Figura 4-64**, apreciamos que la distribución de los valores registra una cierta discrepancia en el comportamiento (puntos rojos) los cuales debidamente identificados corresponden a los años: mayo/2006, marzo/2011, noviembre/2011, enero/2012, abril/2013, diciembre/2013 y marzo/2015.

Con los puntos azules, se procedió a general la curva algebraica de primer grado y cuyo coeficiente de regresión alcanza un valor de 97%, permitiendo con ello tener una función que permita estimar valores de ambas variables en función al comportamiento de la otra. Es importante indicar que los puntos no considerados en el análisis final se ubican por debajo de la curva y en la parte media alta.

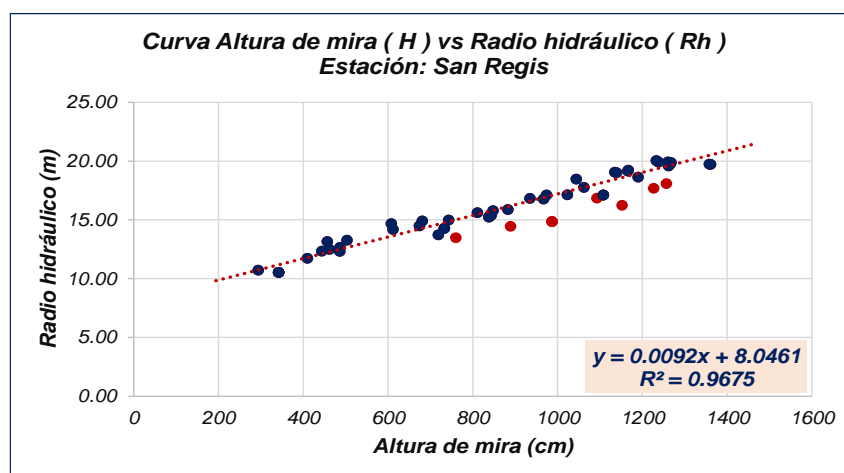


Figura 4-64. Análisis de la curva Altura de mira – Radio hidráulico estación San Regis  
Fuente. Elaboración propia

#### - Caudal (Q) vs Área mojada (Am)

En la **Figura 4-65**, se muestra el análisis entre el caudal y el área mojada, apreciando que la distribución obtenida es uniforme y permite ser ajustada a una expresión algebraica de primer orden, con un coeficiente de regresión de 98%.

A pesar que la distribución de los valores plotados muestran una ligera discrepancia en la serie (puntos rojos), estos han sido identificados y corresponden a los años: febrero/2009, octubre/2009, marzo/2011, noviembre/2011, febrero/2012, abril/2013 y diciembre/2013; los cuales se ubican por debajo de la serie.

Para el análisis, se ha considerado solamente los puntos de color azul, mediante los cuales se procedió a realizar un ajuste de una curva de primer grado, el cual presenta un coeficiente de regresión de 98%.

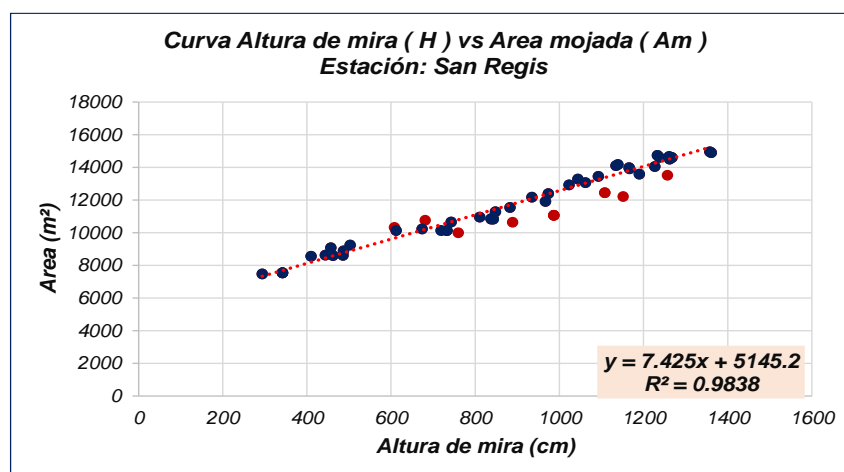


Figura 4-65. Análisis de la curva Caudal – Área mojada estación San Regis  
Fuente. Elaboración propia

La variabilidad de los puntos que se registran en la serie de los datos de aforo, puede estar relacionada con un desplazamiento de la regla limnimétrica, generando que se sub dimensione la lectura de nivel de agua; o por problemas de sedimentación que origina la pérdida de calado del río.

- Caudal (Q) vs Velocidad superficial (Vs) y Velocidad media (Vm)

Para las velocidades superficiales y medias, se ha logrado encontrar patrones de comportamiento característicos, las cuales han sido representadas a través de expresiones algebraicas de segundo grado, tal como se aprecian en las **Figuras 4-66 y 4-67**. Para ambos casos los coeficientes de regresión determinados están en 98%.

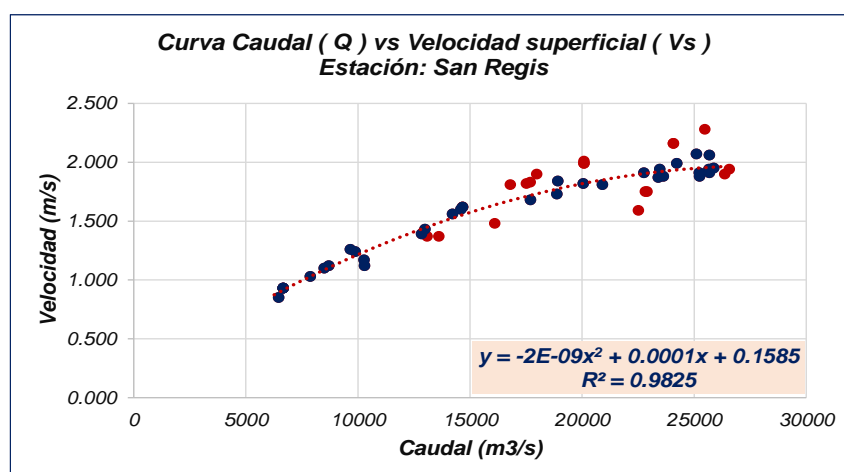


Figura 4-66. Análisis de la curva Caudal – Velocidad superficial estación San Regis  
Fuente. Elaboración propia

En ambos casos, se presentan valores de aforo que registran cierta discrepancia con la serie original razón por la cual fueron dejados de lado a la hora de obtener el ajuste de la curva teórica generada. Dichos puntos de color rojos, fueron identificados como parte de los años:

- **Velocidad superficial:** marzo/2003, enero-abril-junio/2004, febrero/2007, noviembre-diciembre/2008, enero/2009, junio-octubre/2009, enero-abril/2012 y diciembre/2013.
- **Velocidad media:** enero-junio/2004, diciembre/2008, febrero/2009, marzo/2011, noviembre/2011, febrero/2012 y diciembre/2013.

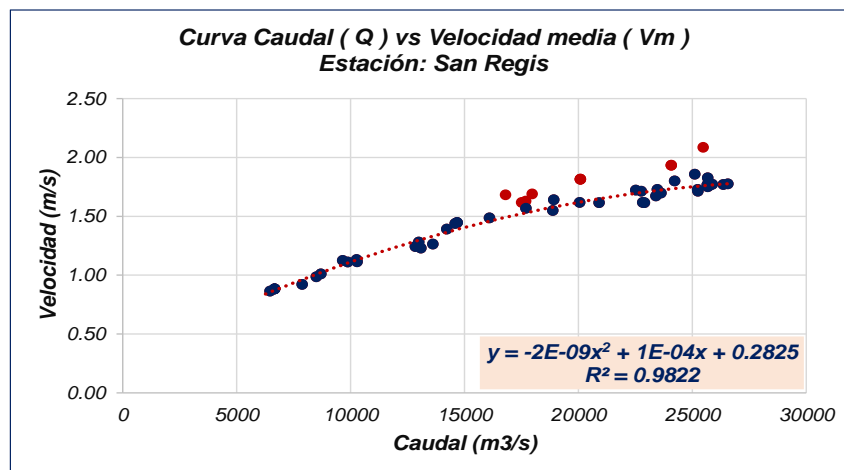


Figura 4-67. Análisis de la curva Caudal – Velocidad media estación San Regis  
Fuente. Elaboración propia

En ambos casos, los puntos observados (puntos de color rojo) se ubican por encima de la curva de ajustes, que nos indicaría el registro de un mayor volumen de agua y por ende mayor velocidad, estando esto sujeto la sección de aforo a procesos de erosión.

#### - Caudal (Q) vs Radio hidráulico (Rh)

El patrón de comportamiento de ambas variable interrelacionadas entre sí, muestra un comportamiento variable en su distribución, lo que nos ha obligado a identificar y seleccionar aquellos aforos que no se ajustan a la tendencia de la serie original. Dichos puntos de color rojo corresponden a los años: febrero/2006, febrero/2009, marzo-noviembre/2011, febrero/2012-abril-diciembre/2013, tal como se aprecia en la **Figura 4-68**.

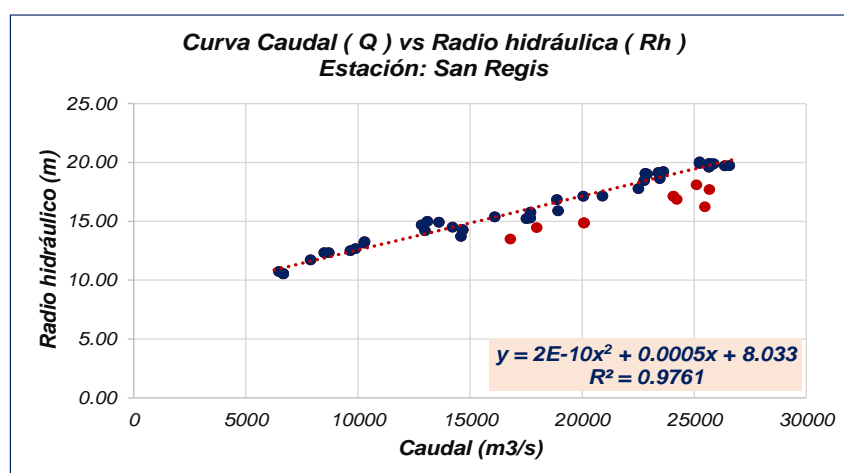


Figura 4-68. Análisis de la curva Caudal – Radio hidráulico  
Fuente. Elaboración propia

El ajuste de los puntos de color azul, ha permitido obtener una expresión algebraica de segundo grado con un coeficiente de regresión de 98%, dicha ecuación viene a representar la relación funcional entre las variables pudieron inferir el comportamiento de una de ellas en base a la otra.

#### 4.4 Distribución de velocidades

En esta sección, se procederá a desarrollar los análisis del comportamiento de la distribución de velocidades generadas a través de las diferentes campañas de aforos realizadas a lo largo de la cuenca del río Marañón.

Para ello hemos considerado importante definir algunos criterio básicos que nos ayudarán a enmarcar el procesos de análisis y obtener una caracterización del perfil de velocidades en cada una de las secciones transversales de aforo.

- Se realizara el análisis para los períodos comprendido entre vaciante y creciente
- Se determinara para cada mes, el valor promedio de distribución de velocidades
- Para las velocidades representativas, se tomaran los puntos correspondientes a las zonas comprendidas entre:
  - o Margen izquierda
  - o Margen central
  - o Margen derecha
- Se definirán las distribuciones de velocidades horizontales de la sección para *tres puntos*:
  - o Superficial
  - o Media
  - o Fondo

Para esta estación en particular, se obtuvieron una total de 16 perfiles de distribución de velocidades, las cuales fueron distribuidas tal como se muestra en la **Tabla 4-11**, obteniéndose los mayores perfiles para setiembre con un total de 4.

Tabla 4-11 Secciones hidráulicas con velocidades

Período	Julio	Agosto	Setiembre
	2005	2006	2003, 2005, 2008
Período	Febrero	Marzo	Abril
	2008	2005	2008

Fuente: elaboración propia

En la **Figura 4-69**, se muestra la distribución de la velocidad media de la sección de aforo, apreciándose que las mayores velocidades se concentran en la margen derecha del río.

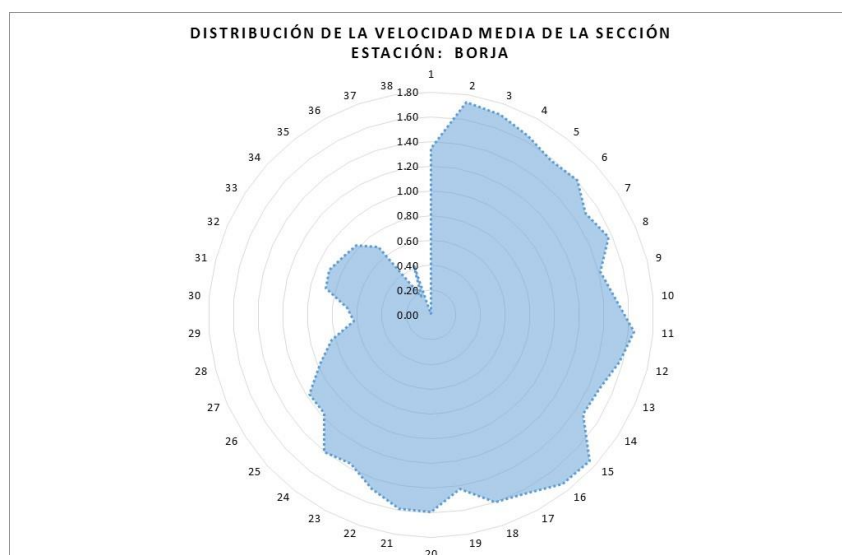


Figura 4-69 Distribución de la velocidad media de la sección del río  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.1 Estación Borja

Iniciaremos analizando los resultados que se generaron para cada uno de los períodos considerados en el proceso, obteniéndose lo siguiente:

##### a) *Periodo julio / setiembre*

- Durante julio 2005:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 3,37 m/s, alcanzando un valor medio de 1,58 m/s.

La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 18,5 m, justamente dicho valor se encuentra a 200 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades tanto a nivel superficial como a diferentes profundidades.

En el punto correspondiente a los 30 metros, se aprecia en la **Figura 4-70**, la distribución de la velocidad vertical la cual presenta un comportamiento variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuatro grado que permite representar en forma teórica el perfil de variabilidad de la velocidad desde el fondo del canal hasta la superficie libre de agua. Para nuestro caso apreciamos que el ajuste nos indica que la mayor velocidad se registra aproximadamente a una profundidad de 2,0 metros de la superficie (36%) y equivale a un valor de 2,0 m/s.



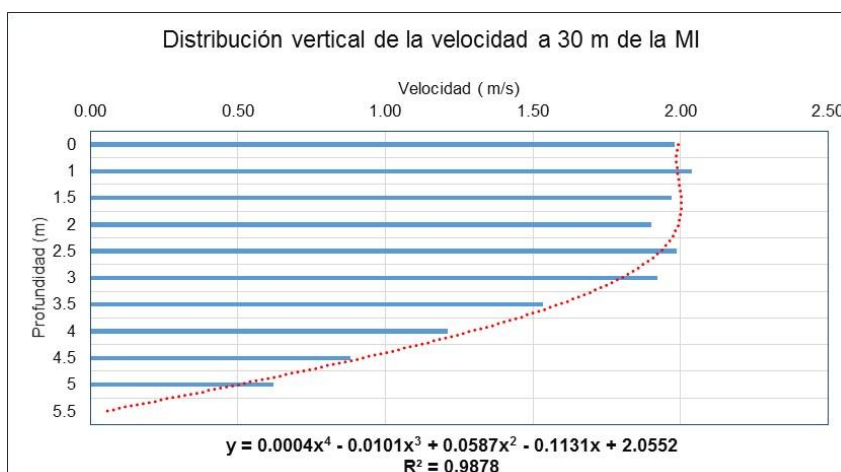


Figura 4-70. Perfil de velocidad vertical punto 30 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-71**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a la máxima profundidad (200 m), cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 3,29 m/s, alcanzado una media de 2,79 m/s. El perfil de velocidades, muestra claramente un patrón de comportamiento con dos niveles de crecimiento los cuales han sido ajustados mediante una expresión algebraica de cuarto grado que interpreta dicha variabilidad.

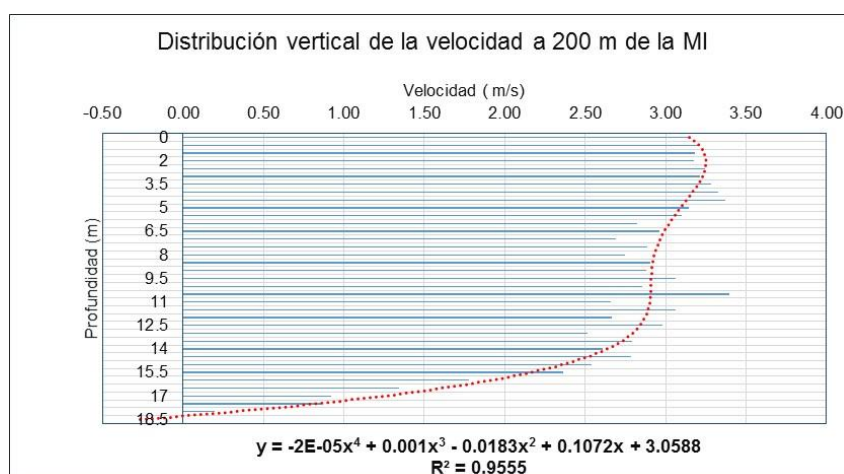


Figura 4-71. Perfil de velocidad vertical punto 200 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

El valor de la máxima velocidad queda representado a una profundidad aproximada de 2,0 m desde la superficie (11%), con un valor de 3,25 m/s. A pesar que de los valores observados la máxima velocidad es de 3,29 m/s.

En la **Figura 4-72**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 250 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores es bien representada por una función algebraica de cuarto grado, donde los valores máximos se ubican por debajo de la superficie a una profundidad media de 3,5 metros (20%).

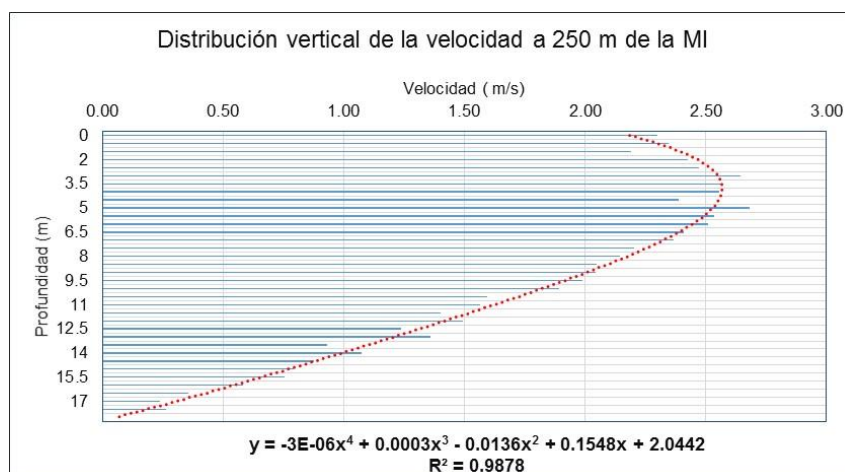


Figura 4-72 Perfil de velocidad vertical punto 250 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

De la serie de valores de velocidades registradas para esta estación de aforo, se obtuvo un perfil promedio general relacionado básicamente a la mayor profundidad y que se muestra en la **Figura 4-73**, donde claramente vemos como se distribuye el perfil de velocidades el cual ha sido ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, donde los mayores valores se registran a una profundidad media de 9,5 m (50%).

En relación a la distribución de la velocidad, a nivel horizontal, que se ha registrado en la estación de aforo, se ha podido encontrar comportamientos variables en función a la profundidad, lo que ha permitido conocer como es la predominancia de las líneas de corriente en dicha sección de aforo. Para nuestro caso, consideramos importante conocer dichos patrones a nivel superficial, medio y bajo.

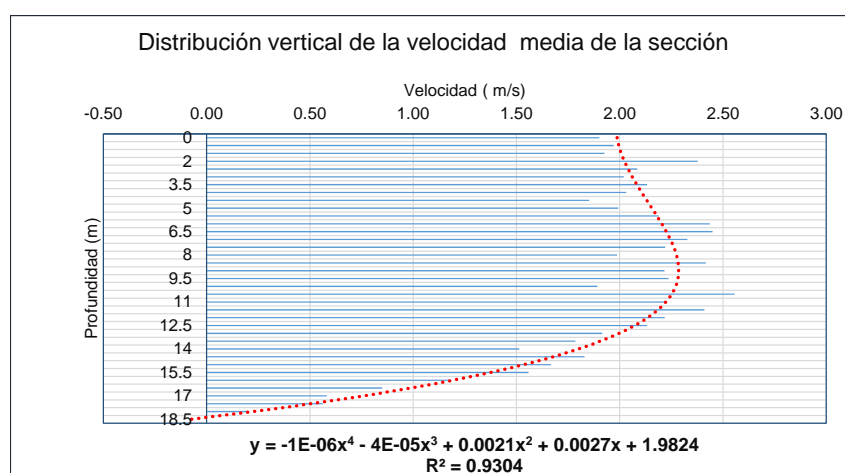


Figura 4-73. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

La distribución de la velocidad horizontal del agua a diferentes niveles de profundidades se muestran en la **Figura 4-74**, donde se ha representado los valores a 0,0 m, 5,0 m y 8,5 metros de profundidad; apreciándose claramente como el comportamiento de la velocidad a nivel superficial está orientada hacia la margen izquierda del río, mientras que a medida que se va

profundizando en la sección las líneas de corrientes se van desplazando hacia la margen derecha.

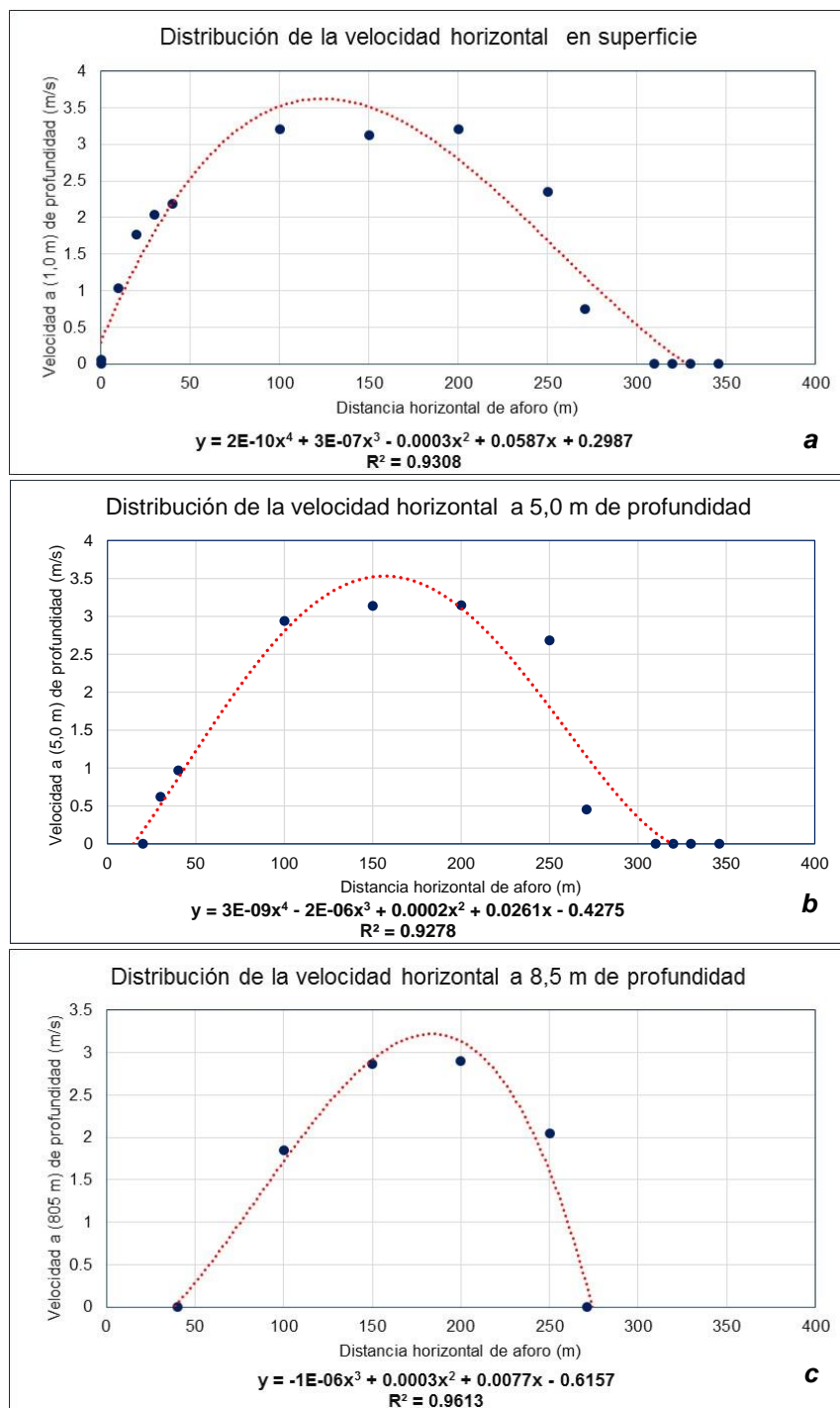


Figura 4-74. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 8,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

- Durante agosto 2006:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 1,75 m/s, alcanzando un valor medio de 0,67 m/s. La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 14,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 200 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades tanto a nivel superficial como a diferentes profundidades.

Los valores de las velocidades registradas a los 30 metros, se aprecia en la **Figura 4-75**, donde la distribución de la velocidad vertical presenta un comportamiento variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado que permite representar en forma teórica el perfil de variabilidad de la velocidad desde el fondo del canal hasta la superficie.

Para este mes en particular, apreciamos que el ajuste nos indica que la mayor velocidad se registra aproximadamente a una profundidad de 0,5 metros de la superficie (17%) y equivale a un valor de 0,95 m/s.

Los mayores valores de velocidades se registran justamente en la zona más profunda de la sección transversal (200 m de la margen izquierda), para la cual se ha determinado la distribución vertical de la velocidad, que se muestra en la **Figura 4-76**, donde los valores fluctúan entre 0,0 m/s y 1,75 m/s, alcanzando una media de 1,31 m/s.

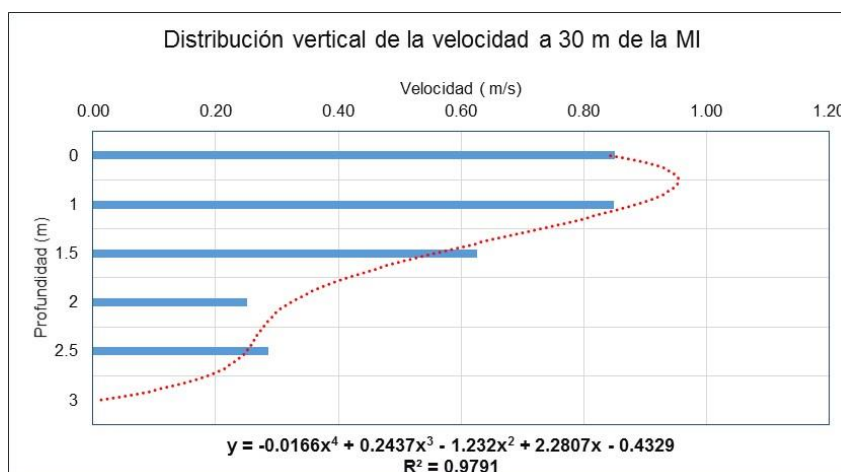


Figura 4-75 Perfil de velocidad vertical punto 30 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

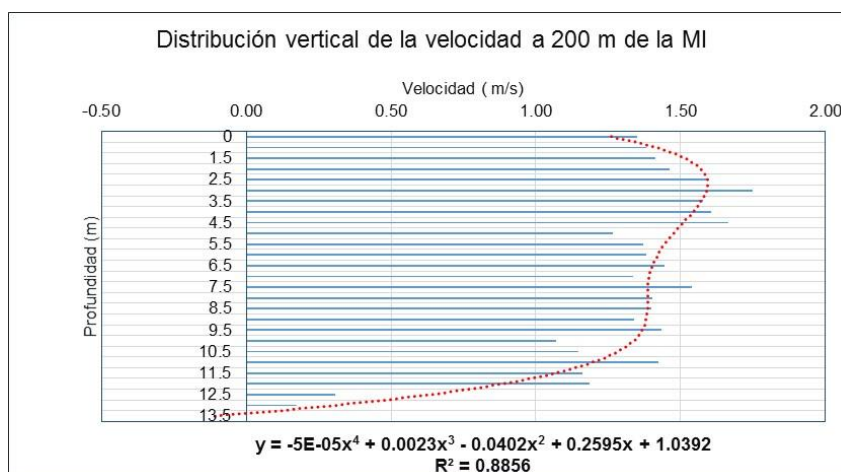


Figura 4-76 Perfil de velocidad vertical punto 200 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

El perfil de velocidad muestra un comportamiento variable en relación a la profundidad de la corriente, lo que ha permitido ajustar los valores a una expresión algebraica de cuarto grado, la cual nos indica que las mayores velocidades se presentan a una profundidad de 3,0 metros de la superficie (22%).

En la **Figura 4-77**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 230 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores es bien representada por una función algebraica de cuarto grado, donde los valores máximos se ubican por debajo de la superficie a una profundidad media de 1,0 metros (29%).

Para las velocidades registradas, se obtuvo un perfil promedio general en relación a la profundidad; cuyos valores muestran un patrón de comportamiento variable con valores mínimos en la parte superior, tal como se muestra en la **Figura 4-78**. El ajuste obtenido a la serie de valores, ha permitido ajustar una expresión algebraica de cuarto grado, donde el mayor valor se registra a una profundidad de 9,5 m (70%).

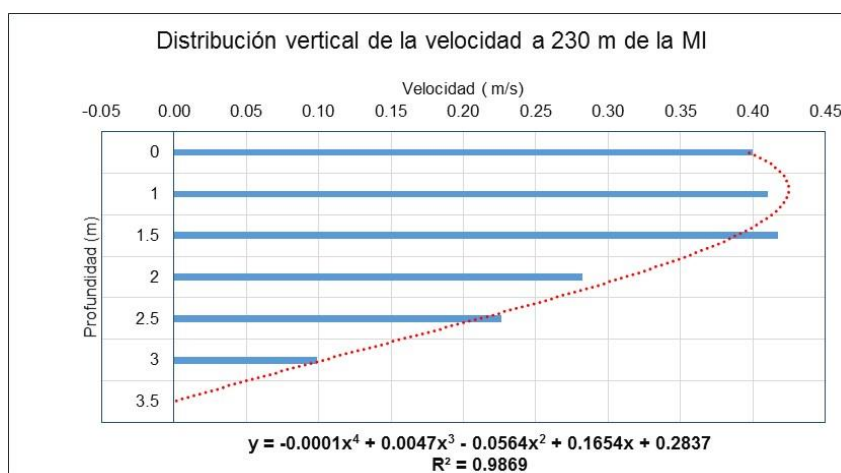


Figura 4-77. Perfil de velocidad vertical punto 230 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

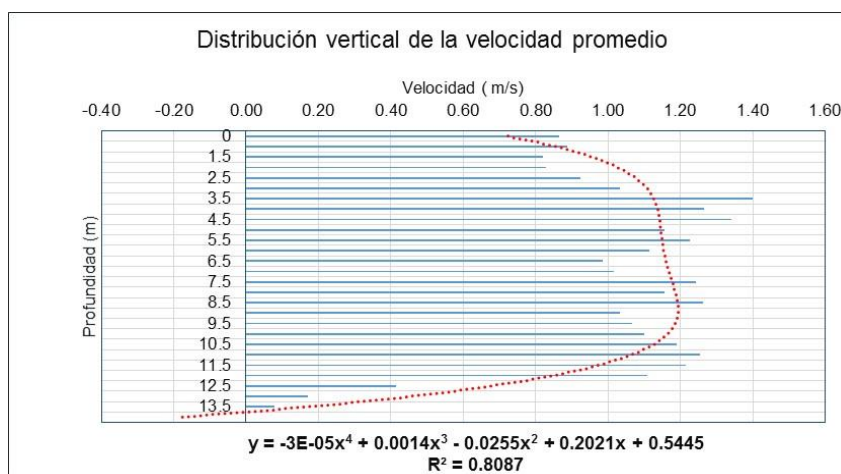


Figura 4-78. Perfil de velocidad vertical media de la sección  
Fuente. Elaboración propia

En relación a la distribución de la velocidad, a nivel horizontal, se observa que las mayores intensidades de la línea de corriente se ajustan hacia la margen derecha de la sección, mientras que en la margen izquierda los valores de velocidades van disminuyendo, tal como se aprecia en la **Figura 4-79**, donde se han representado las velocidades para las profundidades de 0,0 m, 5,0 m y 8,0 metros.

- Durante setiembre 2003/08:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 2,84 m/s, alcanzando un valor medio de 1,18 m/s. La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 19,0 m, valor que se ubica aproximadamente a 150 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades tanto a nivel superficial como a diferentes profundidades.

Los valores de las velocidades registradas a los 30 metros de la margen izquierda, se muestra en la **Figura 4-80**, donde la distribución de la velocidad vertical presenta un comportamiento uniforme en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar una expresión algebraica de cuarto grado que permite representar en forma teórica el perfil de variabilidad de la velocidad desde el fondo del canal hasta la superficie.

Para este mes en particular, apreciamos que el ajuste nos indica que la mayor velocidad se registra aproximadamente a una profundidad de 2,0 metros de la superficie (36%) y equivale a un valor de 1,75 m/s.

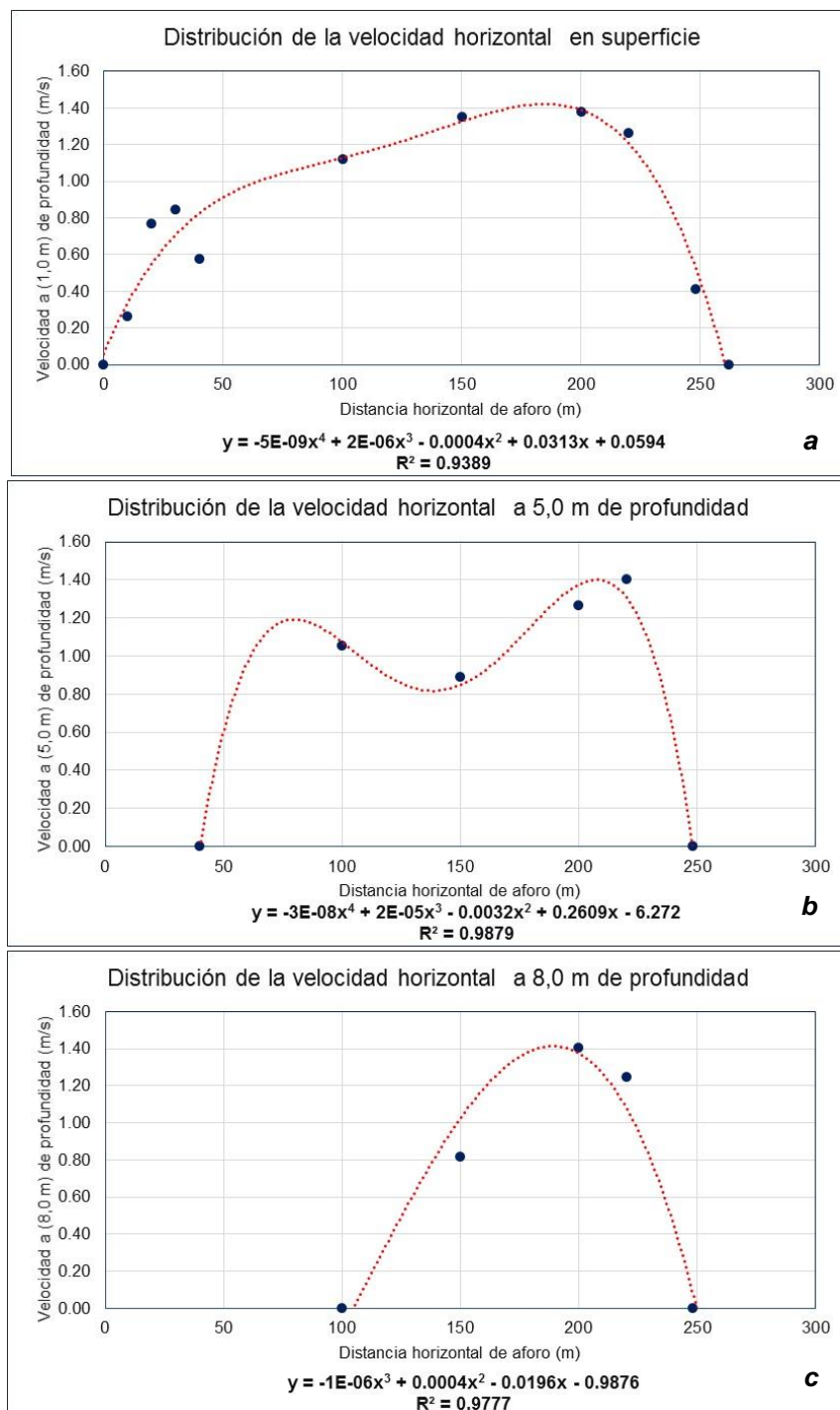


Figura 4-79. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 8,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia



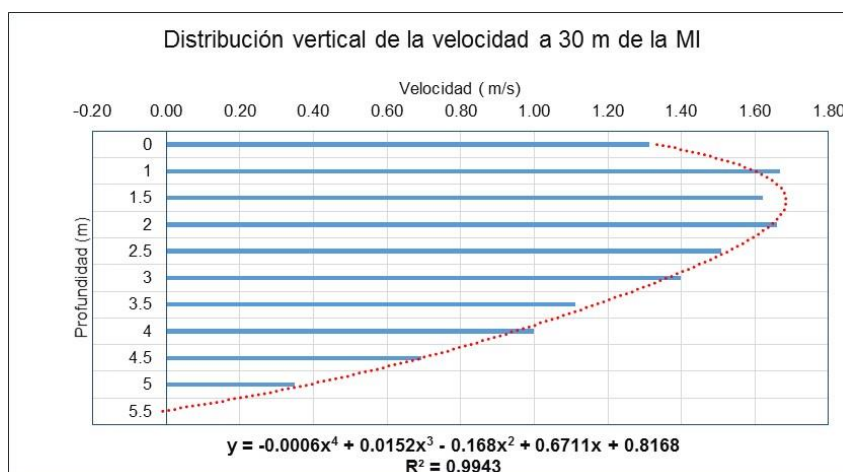


Figura 4-80 Perfil de velocidad vertical punto 30 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

Los mayores valores de velocidades se registran justamente en la zona más profunda de la sección transversal (150 m de la margen izquierda), para la cual se ha determinado la distribución vertical de la velocidad, que se muestra en la **Figura 4-81**, donde los valores fluctúan entre 0,0 m/s y 2,84 m/s, alcanzando una media de 1,99 m/s.

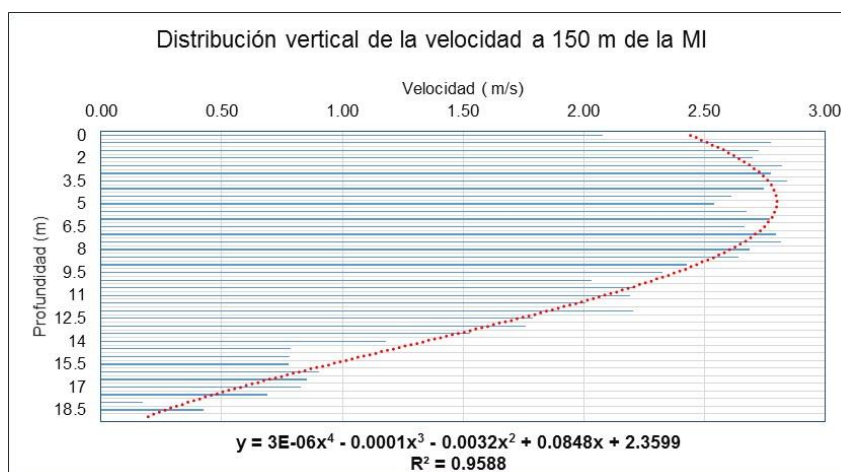


Figura 4-81. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

El perfil de velocidad muestra un comportamiento variable en relación a la profundidad de la corriente, lo que ha permitido ajustar los valores a una expresión algebraica de cuarto grado, la cual nos indica que las mayores velocidades se presentan a una profundidad de 5,0 metros de la superficie (26%).

En la **Figura 4-82**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 250 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores es bien representada por una función algebraica de cuarto grado, donde los valores máximos se ubican por debajo de la superficie a una profundidad media de 1,0 metros (29%).

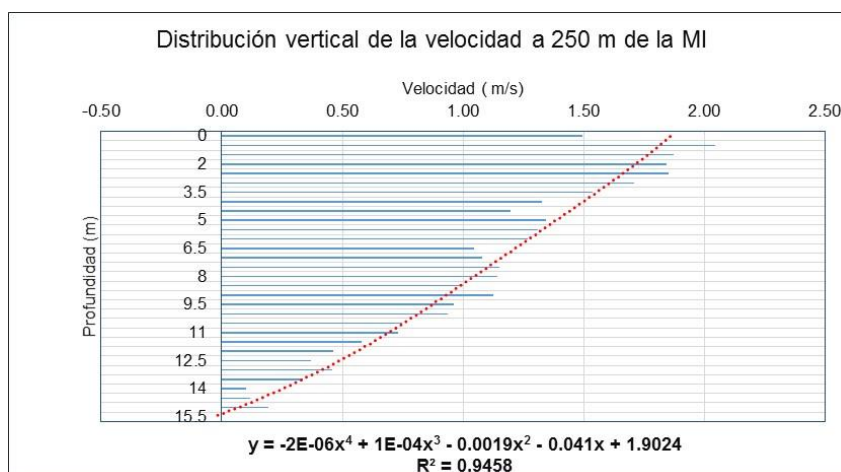


Figura 4-82. Perfil de velocidad vertical punto 250 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

Para las velocidades registradas, se obtuvo un perfil promedio general en relación a la profundidad; cuyos valores muestran un patrón de comportamiento variable con valores mínimos en la parte superior, tal como se muestra en la **Figura 4-83**. El ajuste obtenido a la serie de valores, ha permitido ajustar una expresión algebraica de cuarto grado, donde el mayor valor se registra a una profundidad de 7,0 m (37%).

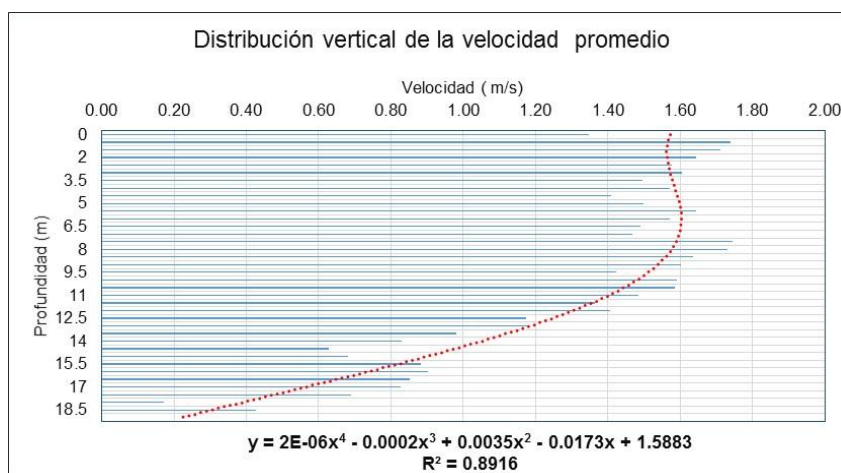


Figura 4-83. Perfil de velocidad vertical promedio en la sección

Fuente. Elaboración propia

En relación a la distribución de la velocidad, a nivel horizontal, se observa que las mayores intensidades de la línea de corriente se ajustan hacia la margen derecha de la sección, mientras que en la margen izquierda los valores de velocidades van disminuyendo, tal como se aprecia en la **Figura 4-84**, donde se han representado las velocidades para las profundidades de 0,0 m, 5,0 m y 8,0 metros.

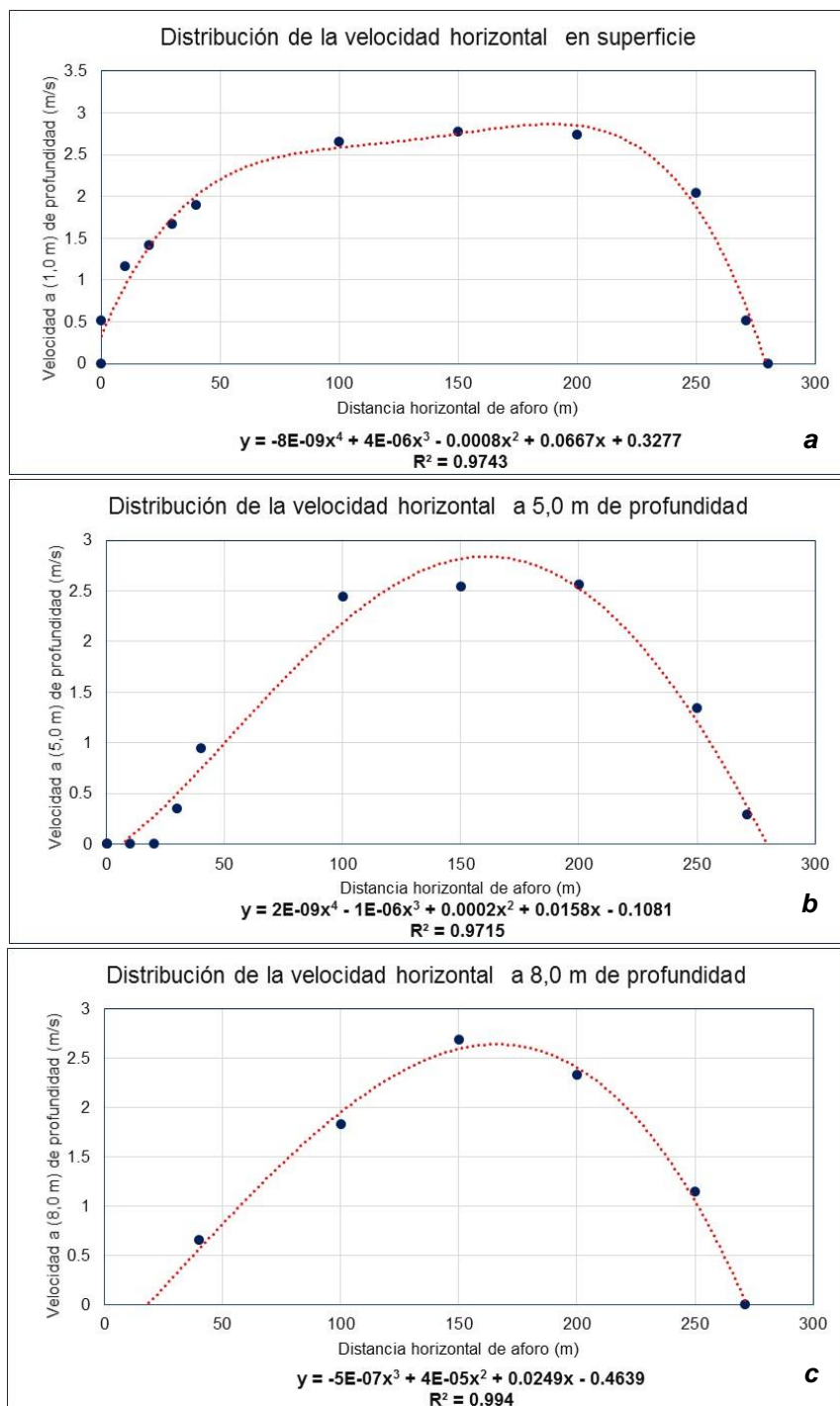


Figura 4-84. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 8,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

#### b) Período febrero / abril

- Durante febrero 2008:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 2,55 m/s, alcanzando un valor medio de 1,30 m/s.

La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 20,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 200 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades tanto a nivel superficial como a diferentes profundidades.

En el punto correspondiente a los 30 metros, se aprecia en la **Figura 4-85**, la distribución de la velocidad vertical la cual presenta un comportamiento variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado que permite representar en forma teórica el perfil de variabilidad de la velocidad desde el fondo del canal hasta la superficie libre de agua.

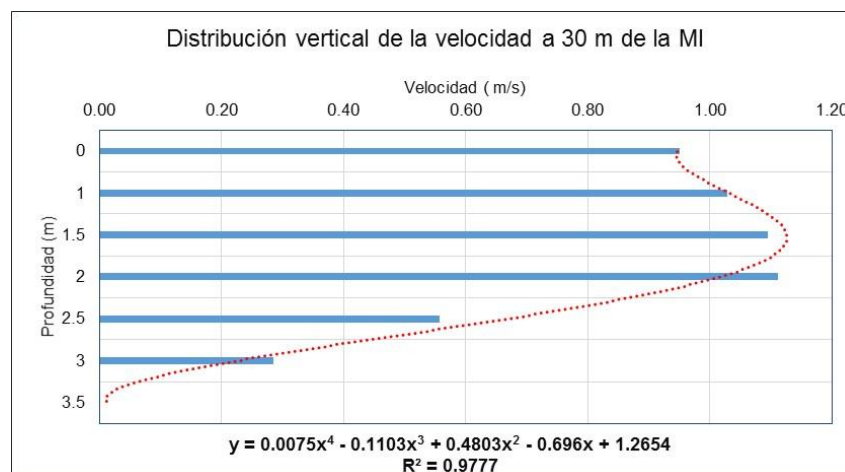


Figura 4-85 Perfil de velocidad vertical punto 30 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

Para nuestro caso apreciamos que el ajuste nos indica que la mayor velocidad se registra aproximadamente a una profundidad de 1,5 metros de la superficie (43%) y equivale a un valor de 1,15 m/s; mientras que a mayores profundidades la velocidad disminuye directamente proporcional hasta ser mínima en el lecho del río.

En la **Figura 4-86**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a la máxima profundidad (200 m de la margen izquierda), cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 2,28 m/s, alcanzado una media de 1,85 m/s.

El perfil de velocidades, muestra claramente un patrón de comportamiento con dos niveles de crecimiento los cuales han sido ajustados mediante una expresión algebraica de cuarto grado que interpreta dicha variabilidad.

El valor de la máxima velocidad queda representada a una profundidad aproximada de 3,0 m desde la superficie (15%), con un valor de 2,20 m/s. A pesar que de los valores observados, la máxima velocidad es de 2,29 m/s.

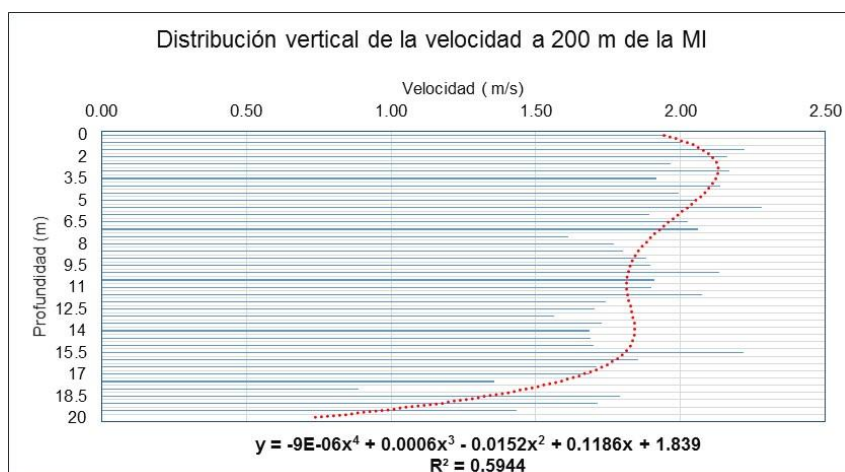


Figura 4-86. Perfil de velocidad vertical punto 200 m de la MI

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4-87**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 230 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores es bien representada por una función algebraica de cuarto grado, donde los valores máximos se ubican por debajo de la superficie a una profundidad media de 2,0 metros (36%).

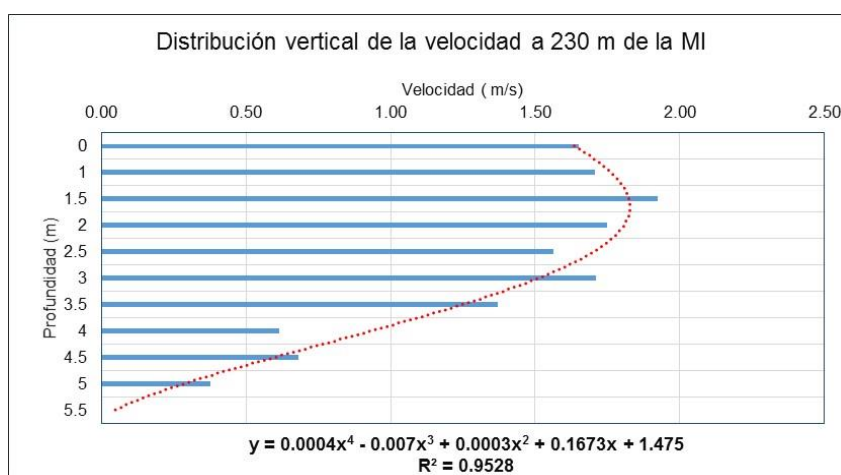


Figura 4-87. Perfil de velocidad vertical punto 230 m de la MI

Fuente: Elaboración propia

De la serie de valores de velocidades registradas para esta estación de aforo, se obtuvo un perfil promedio general relacionado básicamente a la mayor profundidad y que se muestra en la **Figura 4-88**, donde claramente vemos como se distribuye el perfil de velocidades el cual ha sido ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, donde los mayores valores se registran a una profundidad media de 9,5 m (48%).

En relación a la distribución de la velocidad, a nivel horizontal, que se ha registrado en la estación de aforo, se ha podido encontrar comportamientos variables en función a la profundidad, lo que ha permitido conocer como es la predominancia de las líneas de corriente en dicha sección de aforo. Para nuestro caso, consideramos importante conocer dichos patrones a nivel superficial, medio y bajo.

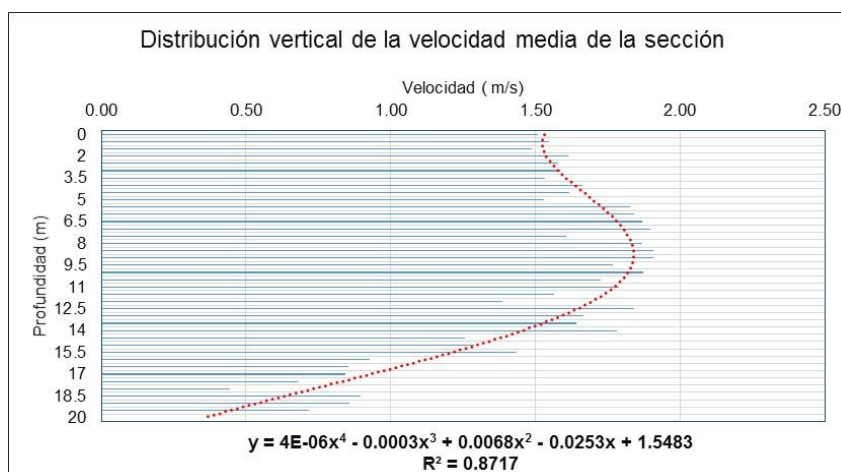


Figura 4-88. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente: Elaboración propia

La distribución de la velocidad horizontal del agua a diferentes niveles de profundidades se muestran en la **Figura 4-89**, donde se ha representado los valores a 0,0 m, 5,0 m y 8,0 metros de profundidad; apreciándose claramente como el comportamiento de la velocidad a nivel superficial está orientada hacia la margen derecha del río, mientras que a medida que se va profundizando en la sección las líneas de corrientes se van desplazando hacia la margen derecha.

- Durante marzo 2006:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 3,63 m/s, alcanzando un valor medio de 1,69 m/s. La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 21,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 220 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades tanto a nivel superficial como a diferentes profundidades.

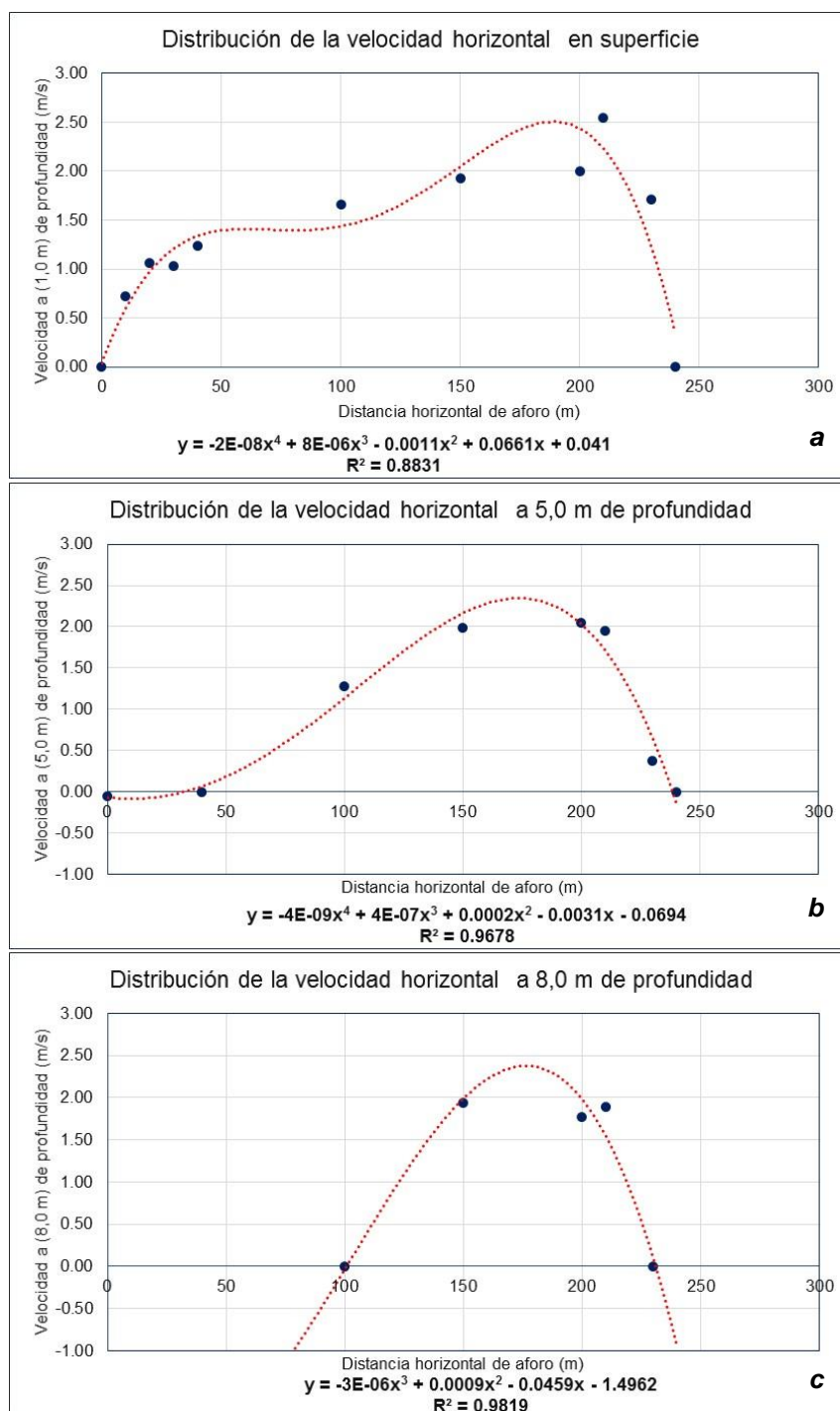


Figura 4-89. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 8,0 m

Fuente: Elaboración propia

Los valores de las velocidades registradas a los 30 metros, se aprecia en la **Figura 4-90**, donde la distribución de la velocidad vertical presenta un comportamiento variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado que permite representar en forma teórica el perfil de variabilidad de la velocidad desde el fondo del canal hasta la superficie.



Para este mes en particular, apreciamos que el ajuste nos indica que la mayor velocidad se registra aproximadamente en la superficie y equivale a un valor de 2,00 m/s.

Los mayores valores de velocidades se registran justamente en la zona más profunda de la sección transversal (200 m de la margen izquierda), para la cual se ha determinado la distribución vertical de la velocidad, que se muestra en la **Figura 4-91**, donde los valores fluctúan entre 0,0 m/s y 3,63 m/s y una media de 1,69 m/s.

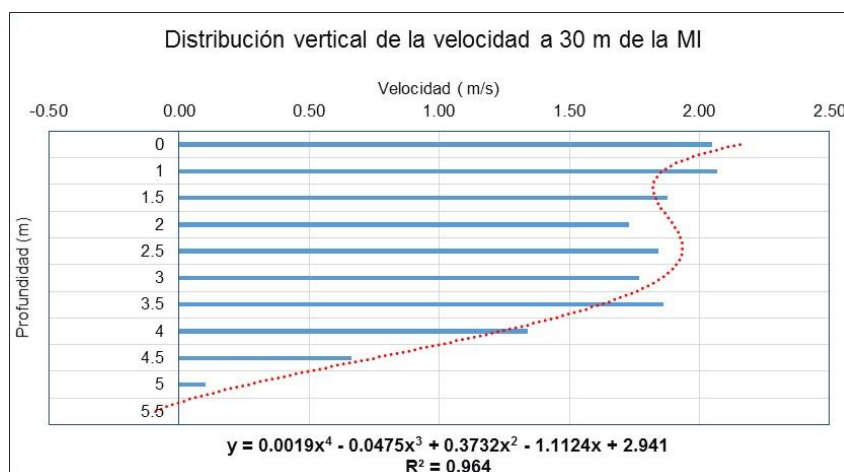


Figura 4-90. Perfil de velocidad vertical punto 30 m de la MI

Fuente: Elaboración propia

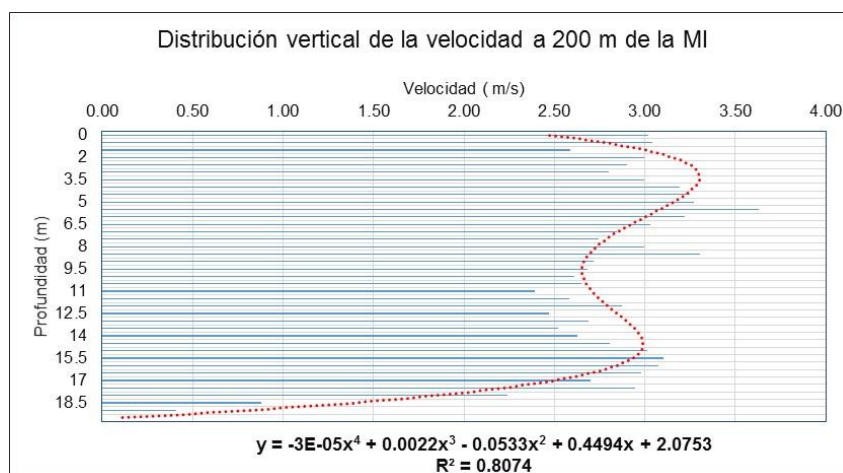


Figura 4-91. Perfil de velocidad vertical punto 200 m de la MI

Fuente: Elaboración propia

El perfil de velocidad muestra un comportamiento variable en relación a la profundidad de la corriente, lo que ha permitido ajustar los valores a una expresión algebraica de cuarto grado, la cual nos indica que las mayores velocidades se presentan a una profundidad de 3,0 metros de la superficie (15%).

En la **Figura 4-92**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 230 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores es bien

representada por una función algebraica de cuarto grado, donde los valores máximos se ubican en la superficie.

Para las velocidades registradas, se obtuvo un perfil promedio general en relación a la profundidad; cuyos valores muestran un patrón de comportamiento variable con valores mínimos en la parte superior, tal como se muestra en la **Figura 4-93**. El ajuste obtenido a la serie de valores, ha permitido obtener una expresión algebraica de cuarto grado, donde el mayor valor se registra a una profundidad de 14,0 m (70%).

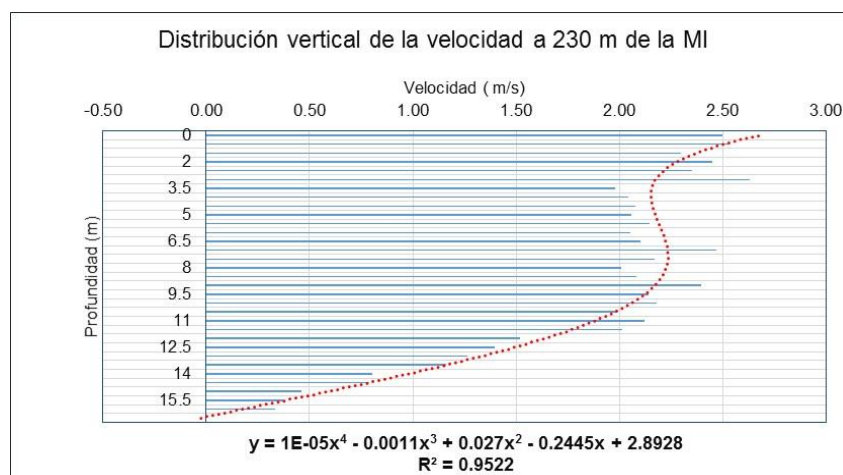


Figura 4-92. Perfil de velocidad vertical punto 230 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

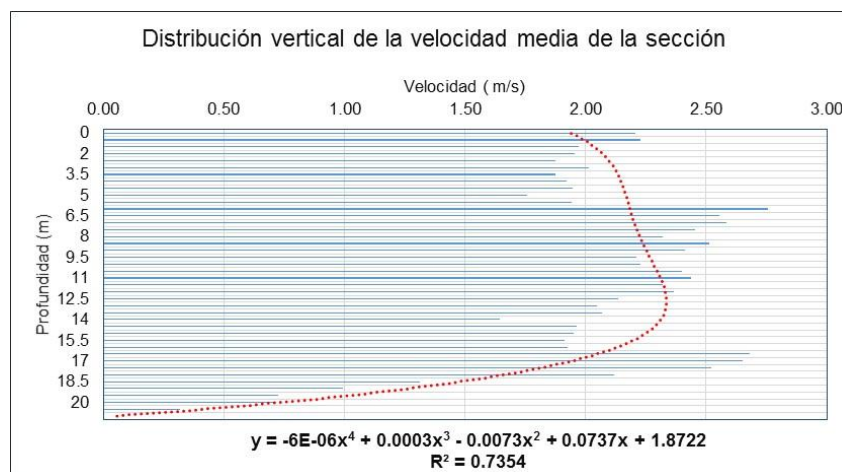


Figura 4-93. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

En relación a la distribución de la velocidad, a nivel horizontal, se observa que las mayores intensidades de las líneas de corrientes se ajustan hacia la margen derecha de la sección; mientras que en la margen izquierda los valores de velocidades van disminuyendo, tal como se aprecia en la **Figura 4-94**, donde se han representado las velocidades para cada una las profundidades que se han sido considerados en el análisis (de 0,0 m, 5,0 m y 8,0 m respectivamente).

- Durante abril 2008:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 3,09 m/s, alcanzando un valor medio de 1,25 m/s. La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 20,5 m, valor que se ubica aproximadamente a 200 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades tanto a nivel superficial como a diferentes profundidades.

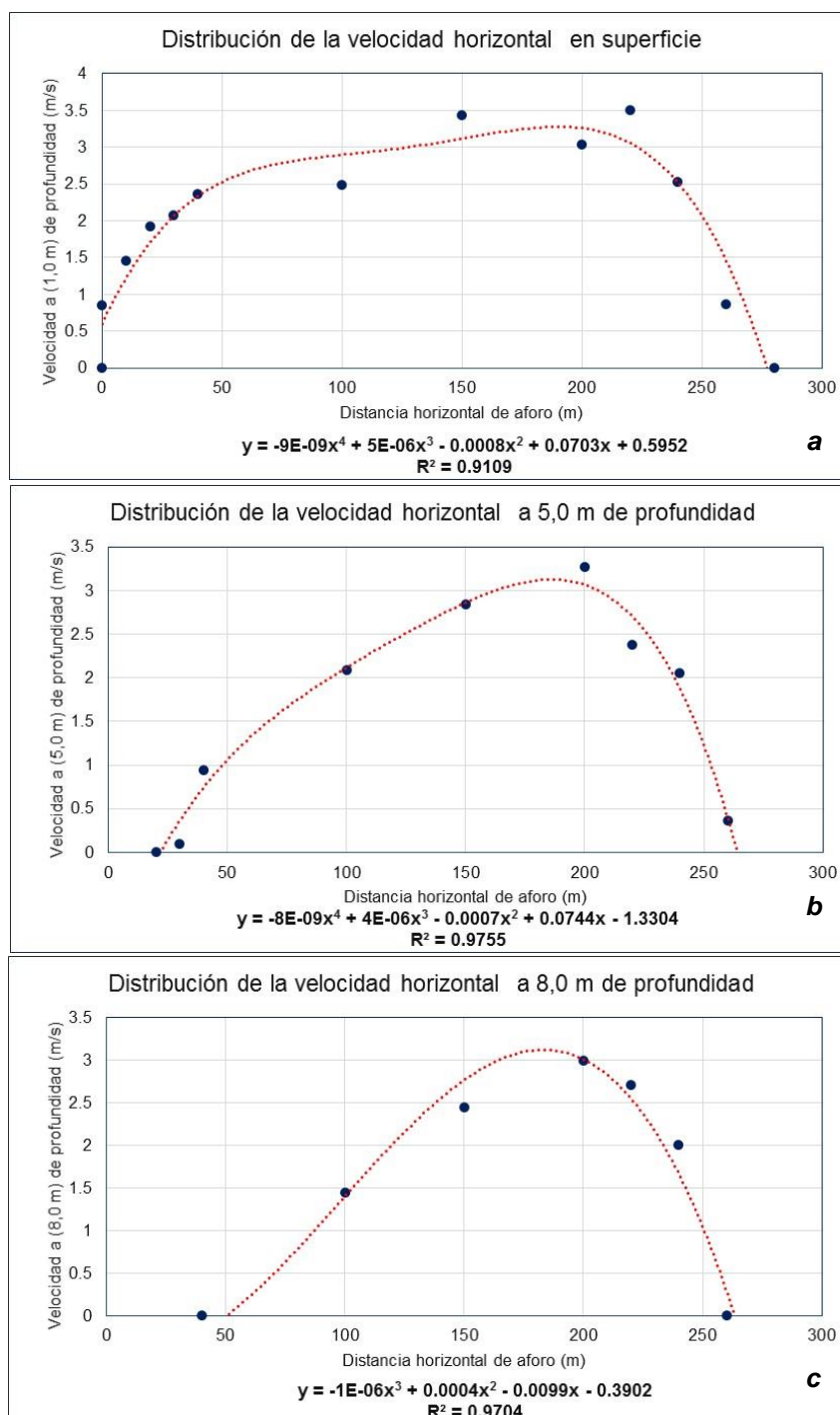


Figura 4-94 Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades  
a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 8,0 m

Fuente. Elaboración propia

Los valores de las velocidades registradas a los 30 metros de la margen izquierda, se muestra en la **Figura 4-95**, donde la distribución de la velocidad vertical presenta un comportamiento uniforme en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar una expresión algebraica de cuarto grado que permite representar en forma teórica el perfil de variabilidad de la velocidad desde el fondo del canal hasta la superficie.

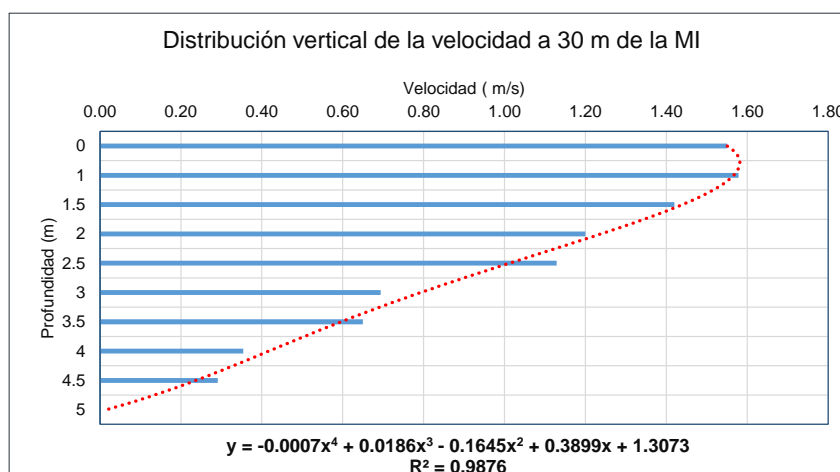


Figura 4-95. Perfil de velocidad vertical punto 30 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

Para este mes en particular, apreciamos que el ajuste nos indica que la mayor velocidad se registra aproximadamente a una profundidad de 1,0 metros de la superficie (20%) y equivale a un valor de 1,55 m/s. Los mayores valores de velocidades se registran justamente en la zona más profunda de la sección transversal (200 m - margen izquierda), para la cual se ha determinado la distribución vertical de la velocidad, que se muestra en la **Figura 4-96**, donde los valores fluctúan entre 0,0 m/s y 3,09 m/s, alcanzando una media de 2,39 m/s.

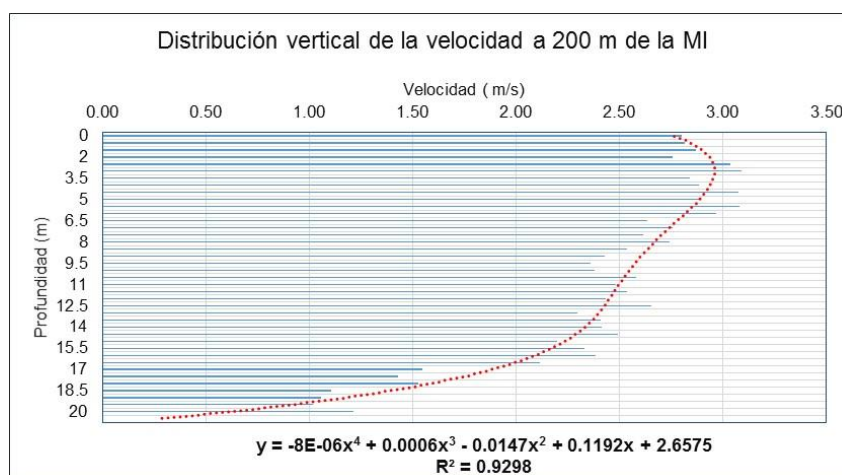


Figura 4-96. Perfil de velocidad vertical punto 200 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

El perfil de velocidad muestra un comportamiento variable en relación a la profundidad de la corriente, lo que ha permitido ajustar los valores a una expresión algebraica de cuarto grado, la cual nos indica que las mayores velocidades se presentan a una profundidad de 3,0 metros de la superficie (15%).

En la **Figura 4-97**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 230 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores es bien representada por una función algebraica de cuarto grado, donde los valores máximos se ubican por debajo de la superficie a una profundidad media de 4,0 metros (27%).

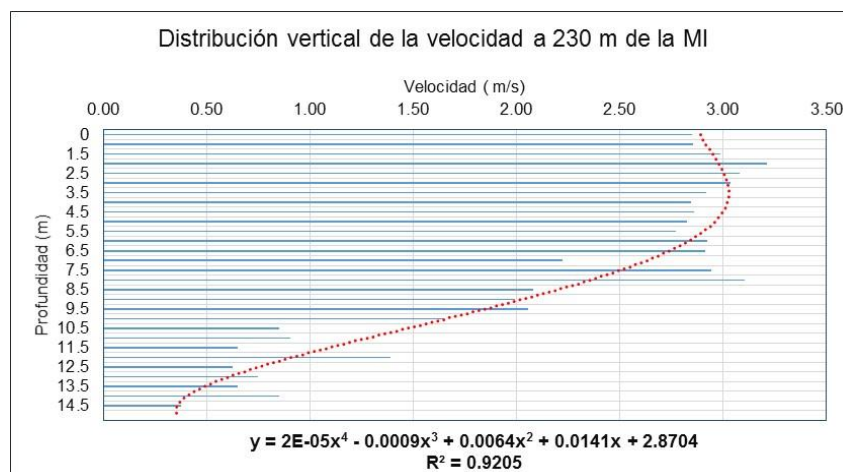


Figura 4-97. Perfil de velocidad vertical punto 230 m de la MI  
Fuente. Elaboración propia

Para las velocidades registradas, se obtuvo un perfil promedio general en relación a la profundidad; cuyos valores muestran un patrón de comportamiento variable con valores mínimos en la parte superior, tal como se muestra en la **Figura 4-98**. El ajuste obtenido a la serie de valores, ha permitido ajustar una expresión algebraica de cuarto grado, donde el mayor valor se registra a una profundidad de 7,0 m (34%).

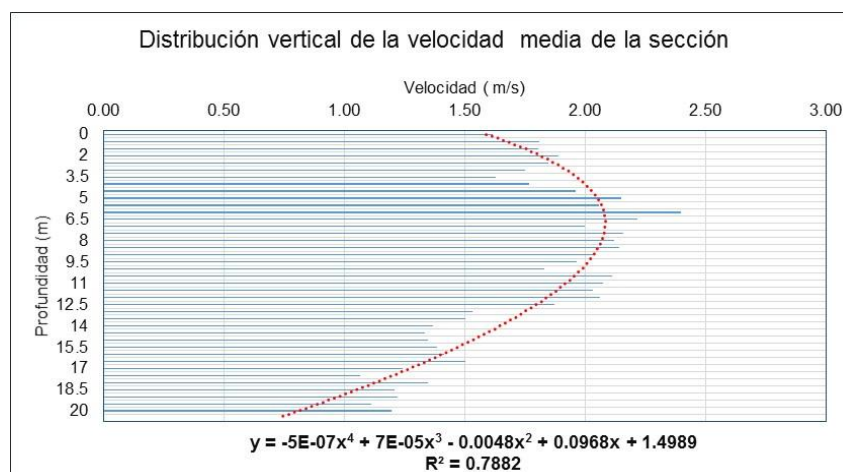


Figura 4-98. Perfil de velocidad vertical media de la sección  
Fuente. Elaboración propia

En relación a la distribución de la velocidad, a nivel horizontal, se observa que las mayores intensidades de la línea de corriente se ajustan hacia la margen derecha de la sección, mientras que en la margen izquierda los valores de velocidades van disminuyendo, tal como se aprecia en la **Figura 4-99**, donde se han representado las velocidades para cada una las profundidades de 0,0 m, 5,0 m y 8,0 metros.

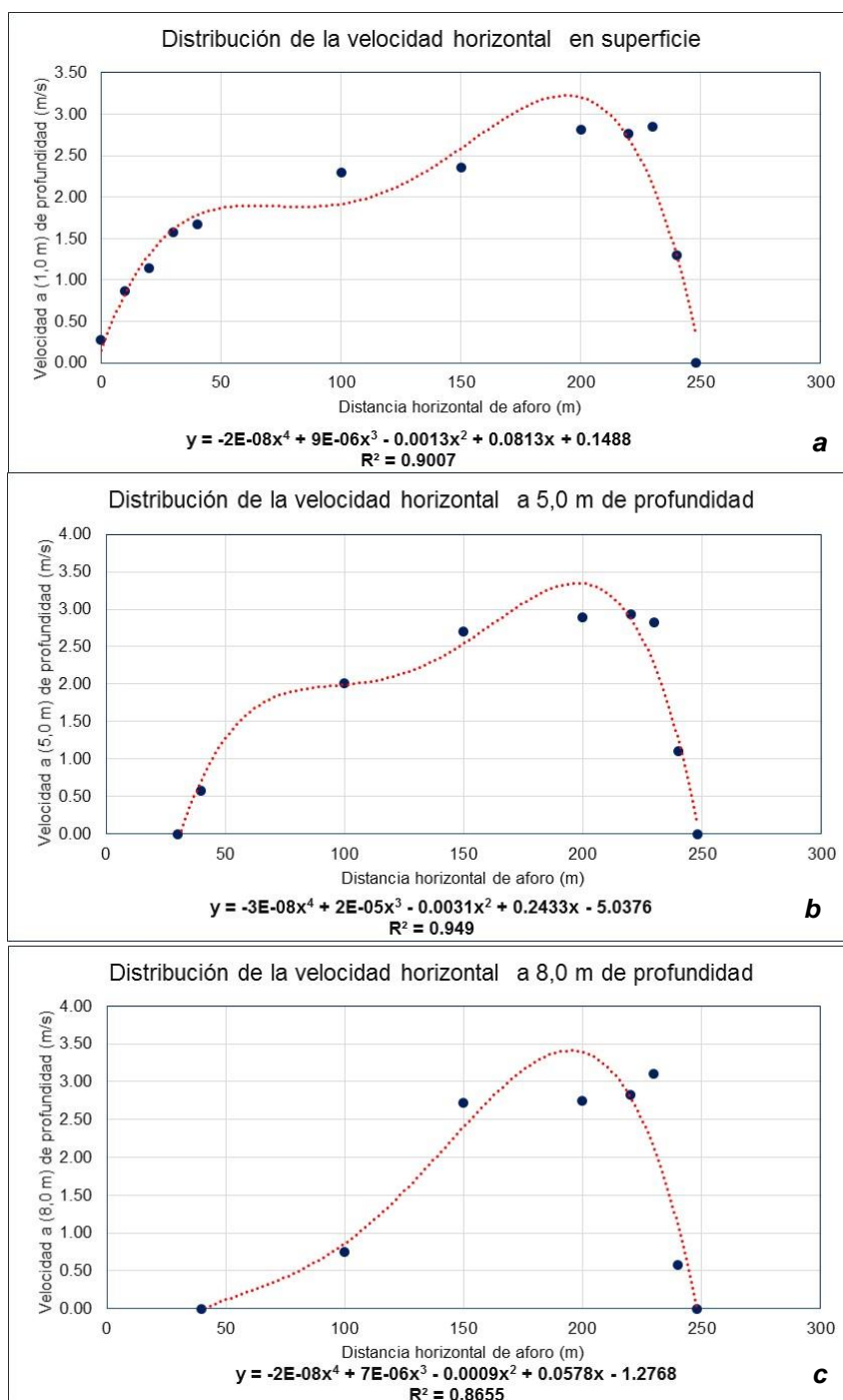


Figura 4-99. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 8,0 m de profundidad

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.2 Estación Chazuta

Iniciaremos analizando los resultados que se generaron para cada uno de los períodos considerados en el proceso, obteniéndose lo siguiente:

Para ello hemos considerado importante definir algunos criterio básicos que nos ayudarán a enmarcar el procesos de análisis y obtener una caracterización del perfil de velocidades en cada una de las secciones transversales de aforo.

- Se realizara el análisis para los períodos comprendido entre vaciante y creciente
- Se determinara para cada mes, el valor promedio de distribución de velocidades
- Para las velocidades representativas, se tomaran los puntos correspondientes a las zonas comprendidas entre:
  - Margen izquierda
  - Margen central
  - Margen derecha
- Se definirán las distribuciones de velocidades horizontales de la sección para tres puntos:
  - Superficial
  - Media
  - Fondo

Para esta estación se obtuvieron una total de 16 perfiles de distribución de velocidades, las cuales fueron distribuidas tal como se muestra en la **Tabla 4-12**, obteniéndose los mayores perfiles para julio y febrero con un total de 3.

Tabla 4-12 Secciones hidráulicas con velocidades

Periodos	Junio	Julio	Diciembre
1	2011	2005, 2007, 2010	2010
	Enero	Febrero	Marzo
2	2015	2006, 2007, 2008	2010

Fuente: elaboración propia

En la **Figura 4-100**, se muestra la distribución de la velocidad media de la sección de aforo, apreciándose que las mayores velocidades se concentran en la margen derecha del río.

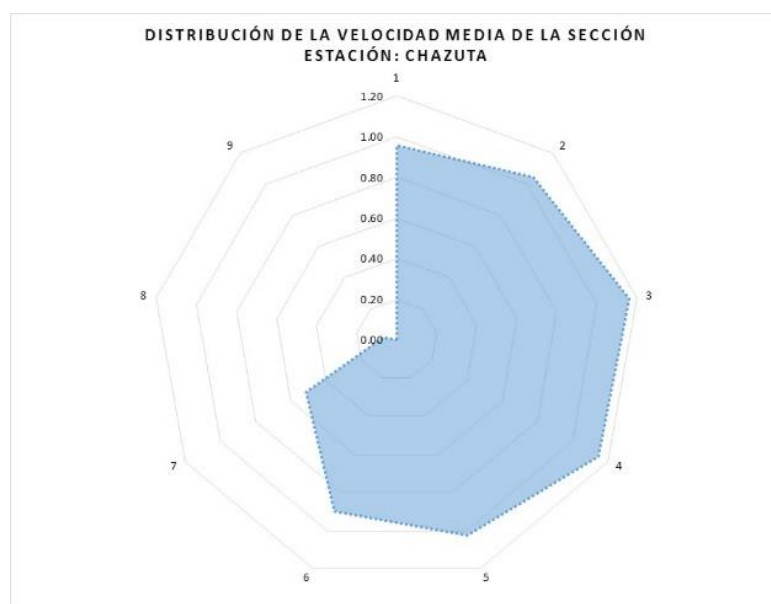


Figura 4-100 Distribución de la velocidad media de la sección del río

Fuente: Elaboración propia



### a) *Periodo Junio / Diciembre*

- Durante junio 2011:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 2,31 m/s, alcanzando un valor medio de 1,15 m/s.

La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 5,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 150 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades tanto a nivel superficial como a diferentes profundidades.

En el punto correspondiente a los 50 metros, se aprecia en la **Figura 4-101**, la distribución de la velocidad vertical la cual presenta un comportamiento variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado que permite representar en forma teórica el perfil de variabilidad de la velocidad desde el fondo del canal hasta la superficie libre de agua.

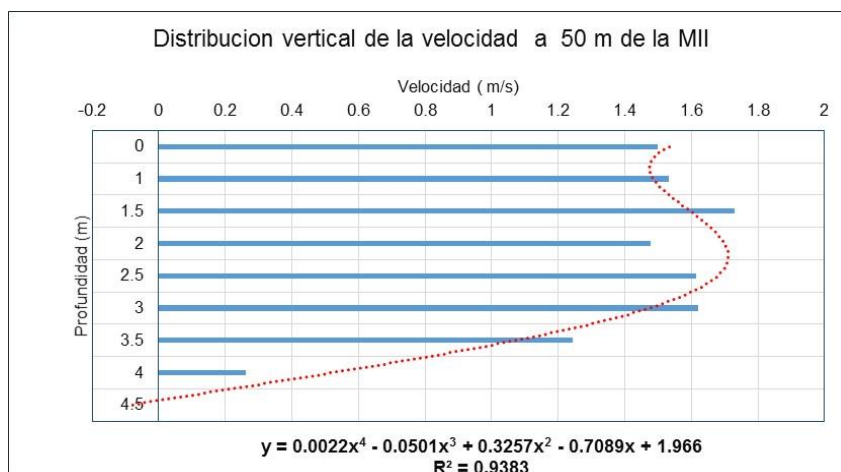


Figura 4-101. Perfil de velocidad vertical punto 50 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

Para nuestro caso apreciamos que el ajuste nos indica que la mayor velocidad se registra aproximadamente a una profundidad de 2,5 metros de la superficie (50%) y equivale a un valor de 1,7 m/s.

En la **Figura 4-102**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a la máxima profundidad (150 m), cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 2,31 m/s, alcanzado una media de 1,74 m/s. El perfil de velocidades, muestra claramente un patrón de comportamiento crecimiento desde el fondo hacia la superficie; ajustando dichos valores mediante una expresión algebraica de cuarto grado que interpreta dicha variabilidad en promedio.

La máxima velocidad queda representada en la superficie con un valor de 2,30 m/s, a pesar que de los valores observados la máxima velocidad es de 2,31 m/s y se presenta aproximadamente a una profundidad de 1,5 m (30%).

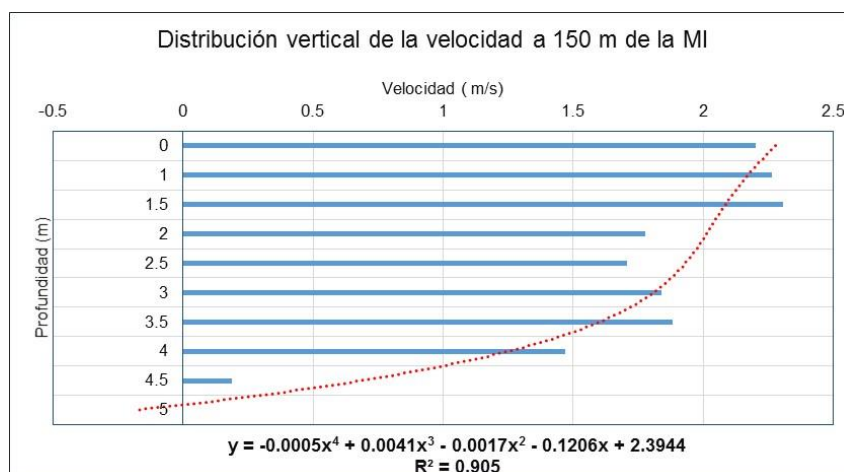


Figura 4-102. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-103**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 220 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores es bien representada por una función algebraica de cuarto grado, donde los valores máximos de la velocidad, se ubican por debajo de la superficie a una profundidad media de 1,5 metros (29%).

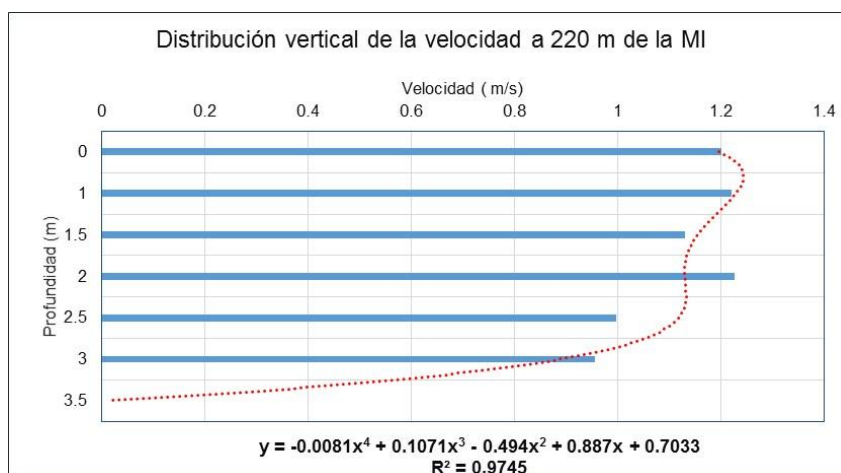


Figura 4-103. Perfil de velocidad vertical punto 220 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

De la serie de valores de velocidades registradas para esta estación de aforo, se obtuvo un perfil promedio general relacionado básicamente a la mayor profundidad y que se muestra en la **Figura 4-104** donde claramente vemos como se distribuye el perfil de velocidades el cual ha sido ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, donde los mayores valores se registran a una profundidad media de 2,5 m (50%).

En relación a la distribución de la velocidad, a nivel horizontal, que se ha registrado en la estación de aforo, se ha podido encontrar comportamientos variables en función a la profundidad, lo que ha permitido conocer como es la predominancia de las líneas de corriente en dicha sección de aforo. Para nuestro caso, consideramos importante conocer dichos patrones a nivel superficial, medio y bajo.

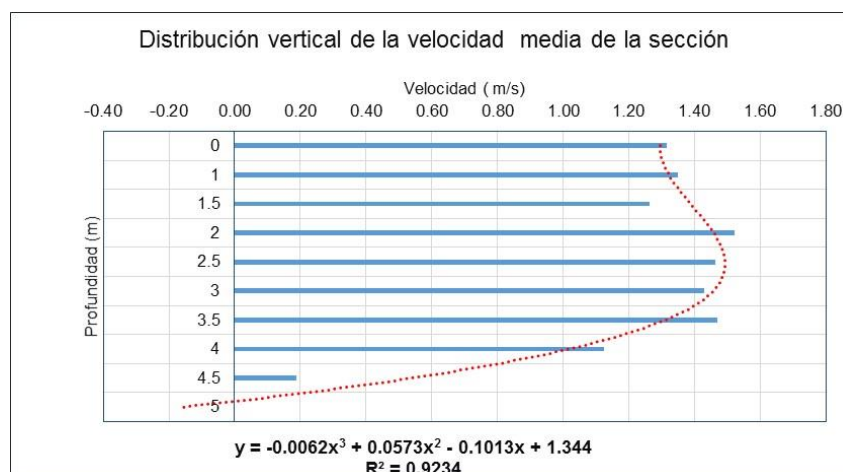


Figura 4-104. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

La distribución de la velocidad horizontal del agua a diferentes niveles de profundidades se muestran en la **Figura 4-105**, donde se ha representado los valores a 0,0 m, 2,5 m y 4,0 metros de profundidad; apreciándose claramente como el comportamiento de la velocidad a nivel superficial está orientada ligeramente hacia la margen derecha del río, mientras que a medida que se va profundizando en la sección las líneas de corrientes se van desplazando hacia la margen derecha.

- Durante julio 2005/2005/2010:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 1,64 m/s, alcanzando un valor medio de 0,82 m/s. La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 4,5 m, justamente dicho valor se encuentra a 150 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades tanto a nivel superficial como a diferentes profundidades.

Los valores de las velocidades registradas a los 50 metros, se aprecia en la **Figura 4-106**, donde la distribución de la velocidad vertical presenta un comportamiento variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado que permite representar en forma teórica el perfil de variabilidad de la velocidad desde el fondo del canal hasta la superficie.

Para este mes en particular, apreciamos que el ajuste nos indica que la mayor velocidad se registra aproximadamente a una profundidad de 1,5 metros de la superficie (43%) y equivale a un valor de 1,25 m/s.

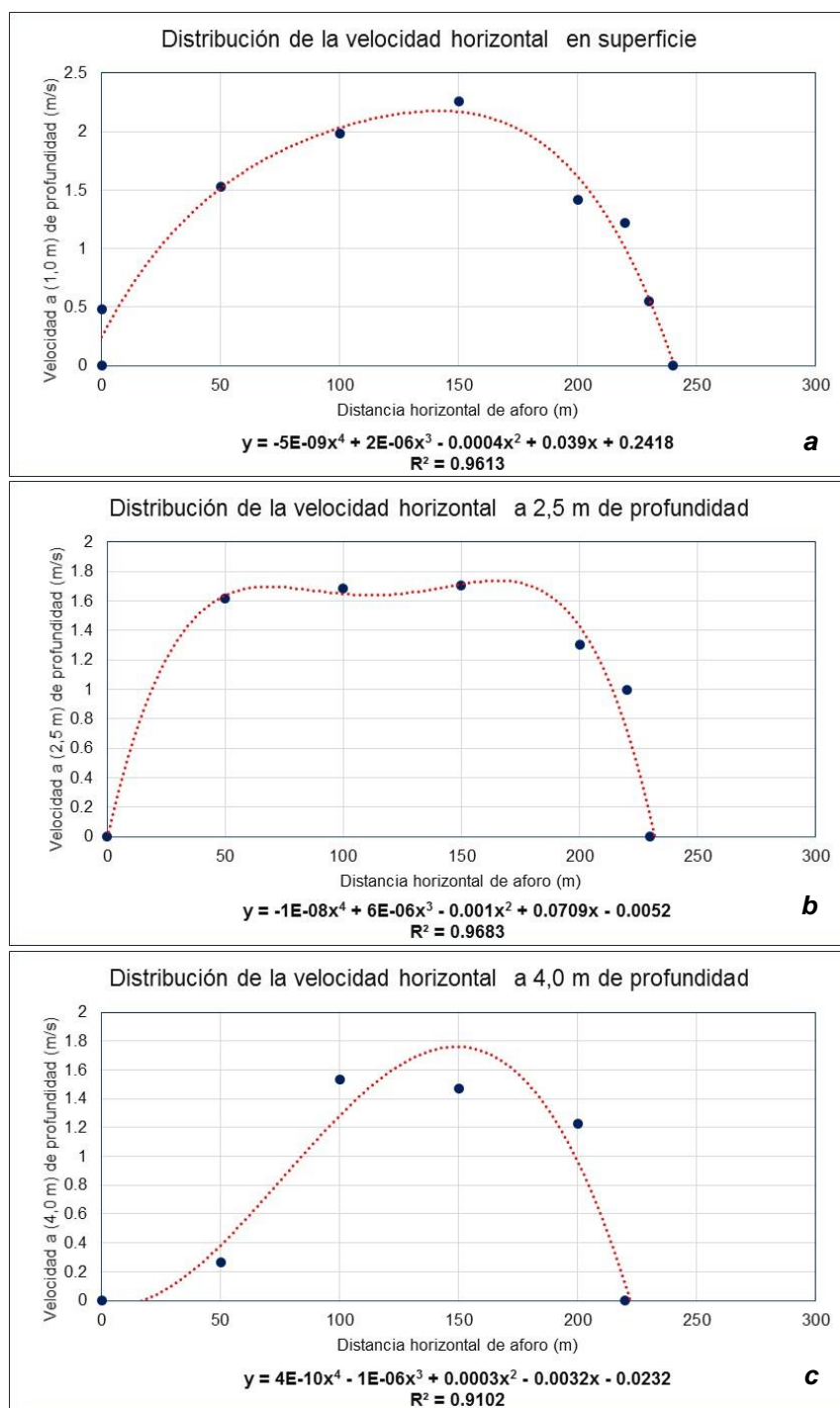


Figura 4-105. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades a) Superficial, b) 2,5 metros y c) 4,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

Los mayores valores de velocidades se registran justamente en la zona más profunda de la sección transversal (100 m de la margen izquierda), para la cual se ha determinado la distribución vertical de la velocidad, que se muestra en la **Figura 4-107**, donde los valores fluctúan entre 0,0 m/s y 1,64 m/s, alcanzando una media de 1,20 m/s.

El perfil de velocidad muestra un comportamiento variable en relación a la profundidad de la corriente, lo que ha permitido ajustar los valores a una expresión algebraica de cuarto grado, la cual nos indica que las mayores velocidades se presentan a una profundidad de 2,5 metros de la superficie (50%).

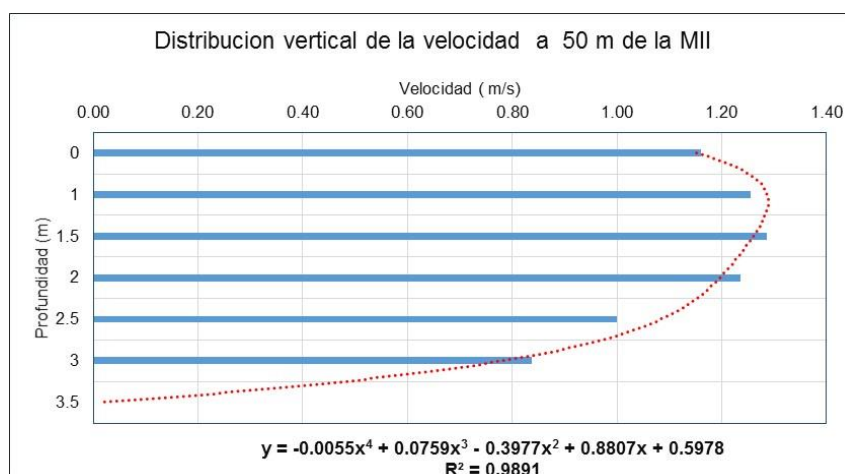


Figura 4-106. Perfil de velocidad vertical punto 50 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

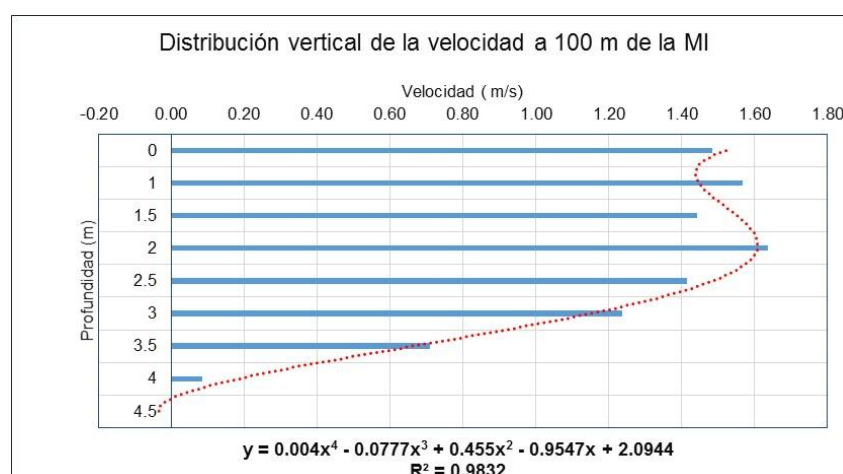


Figura 4-107. Perfil de velocidad vertical punto 100 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-108**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 230 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores es bien representada por una función algebraica de cuarto grado, donde los valores máximos se ubican por debajo de la superficie a una profundidad media de 1,5 metros (43%) con un valor de 0,5 m/s.

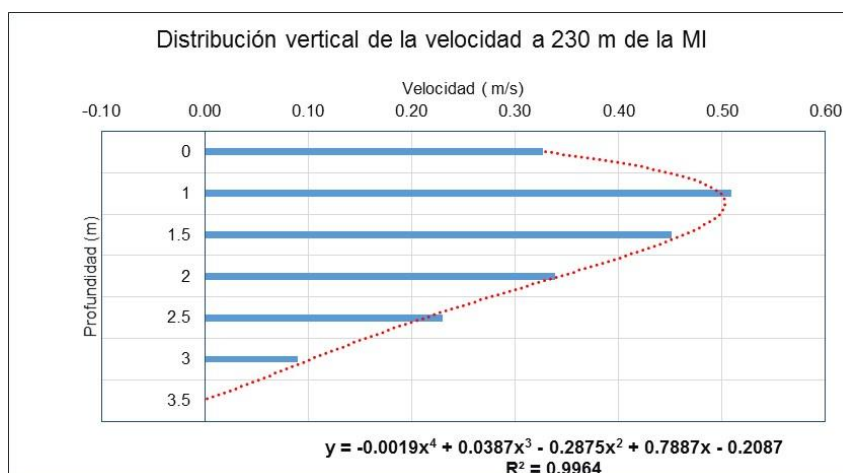


Figura 4-108. Perfil de velocidad vertical punto 230 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

Para las velocidades registradas, se obtuvo un perfil promedio general en relación a la profundidad; cuyos valores muestran un patrón de comportamiento variable con valores mínimos en la parte superior, tal como se muestra en la **Figura 4-109**. El ajuste obtenido a la serie de valores, ha permitido ajustar una expresión algebraica de cuarto grado, donde el mayor valor se registra a una profundidad de 2,2 m (44%).

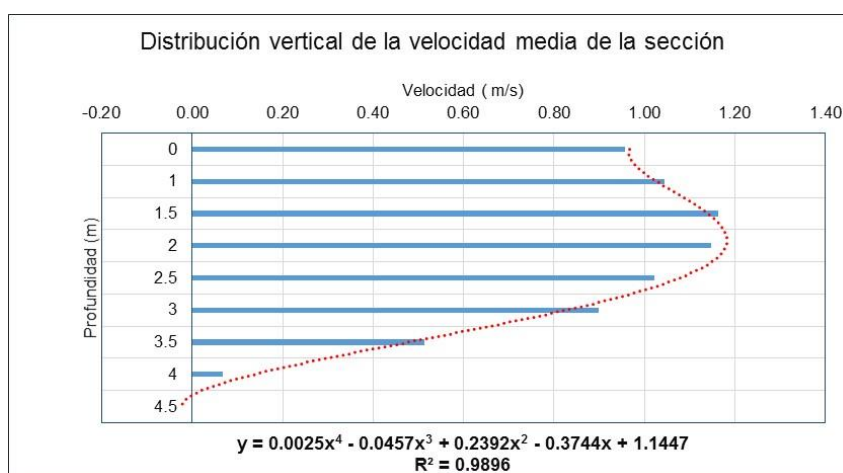


Figura 4-109 Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

En relación a la distribución de la velocidad, a nivel horizontal, se observa que las mayores intensidades de la línea de corriente se ajustan hacia la margen derecha de la sección, mientras que en la margen izquierda los valores de velocidades van disminuyendo, tal como se aprecia en la **Figura 4-110**, donde se han representado las velocidades para las profundidades de 0,0 m, 5,0 m y 8,0 metros.

- Durante diciembre 2010:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 2,96 m/s, alcanzando un valor medio de 1,31 m/s. La

profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 7,5 m, valor que se ubica aproximadamente a 150 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades tanto a nivel superficial como a diferentes profundidades.

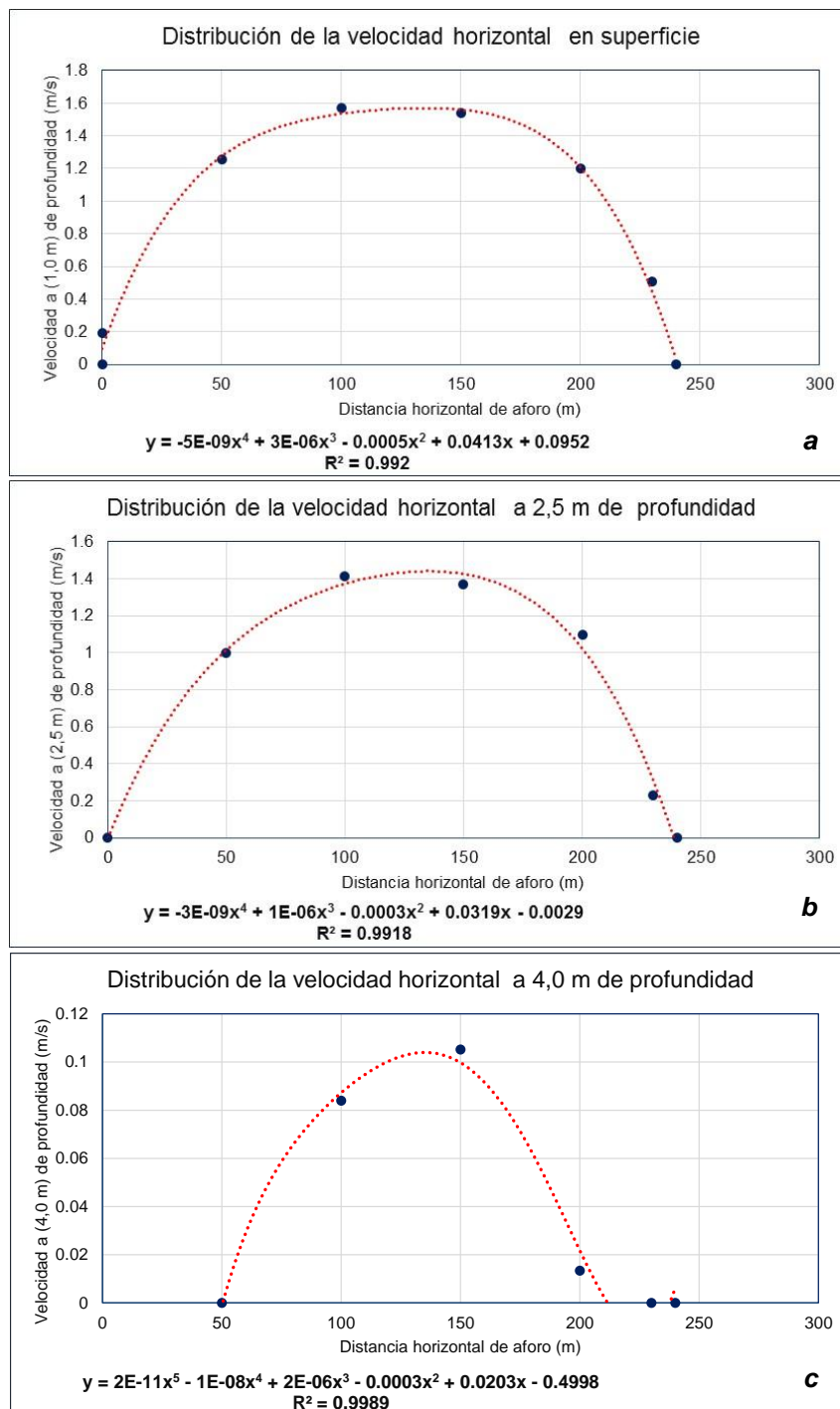


Figura 4-110. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades a) Superficial, b) a 2,5 metros y c) a 4,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia



Los valores de las velocidades registradas a los 50 metros de la margen izquierda, se muestra en la **Figura 4-111**, donde la distribución de la velocidad vertical presenta un comportamiento uniforme en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar una expresión algebraica de cuarto grado que permite representar en forma teórica el perfil de variabilidad de la velocidad desde el fondo del canal hasta la superficie.

Para este mes en particular, apreciamos que el ajuste nos indica que la mayor velocidad se registra en la superficie del agua con un valor medio de 2,35 m/s.

Los mayores valores de velocidades se registran justamente en la zona más profunda de la sección transversal (150 m de la margen izquierda), para la cual se ha determinado la distribución vertical de la velocidad, que se muestra en la **Figura 4-112**, donde los valores fluctúan entre 0,0 m/s y 2,96 m/s, alcanzando una media de 1,96 m/s.

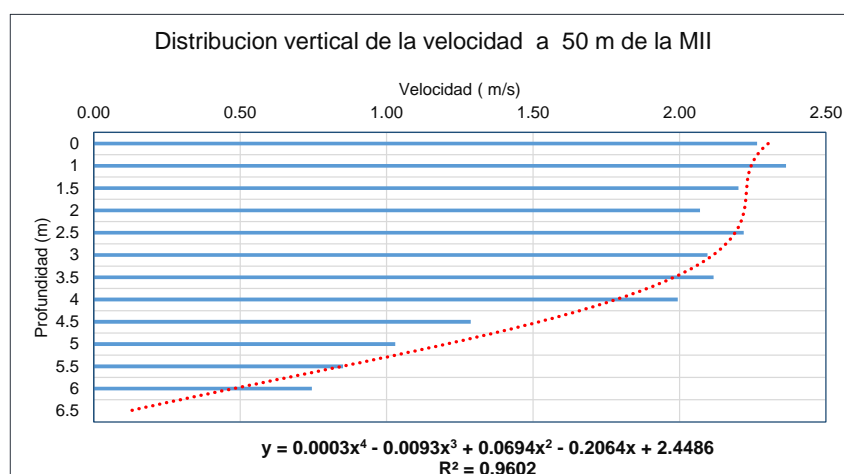


Figura 4-111. Perfil de velocidad vertical punto 50 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

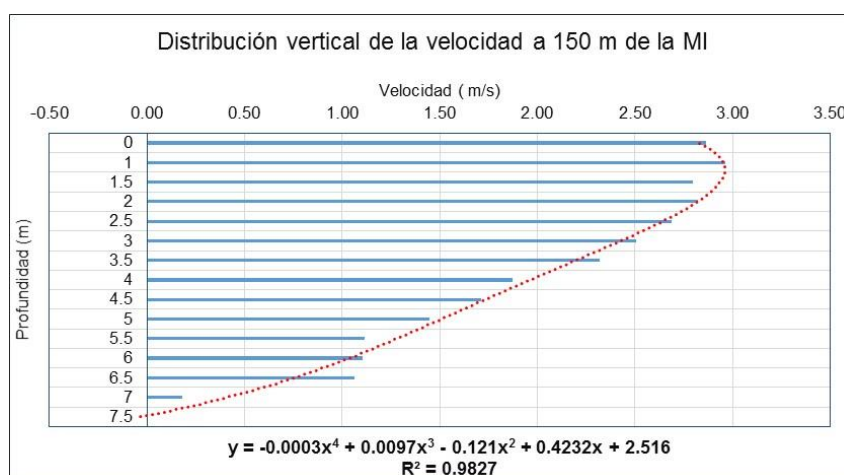


Figura 4-112. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

El perfil de velocidad muestra un comportamiento variable en relación a la profundidad de la corriente, lo que ha permitido ajustar los valores a una expresión algebraica de cuarto grado,

la cual nos indica que las mayores velocidades se presentan a una profundidad de 1,5 metros de la superficie (20%).

En la **Figura 4-113**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 230 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores es bien representada por una función algebraica de cuarto grado, donde el valor máximo se ubica a una profundidad media de 1,0 metros (33%).

Para las velocidades registradas, se obtuvo un perfil promedio general en relación a la profundidad; cuyos valores muestran un patrón de comportamiento variable con valores mínimos en la parte superior, tal como se muestra en la **Figura 4-114**. El ajuste obtenido a la serie de valores, ha permitido ajustar una expresión algebraica de cuarto grado, donde el mayor valor se registra a una profundidad de 7,0 m (37%).

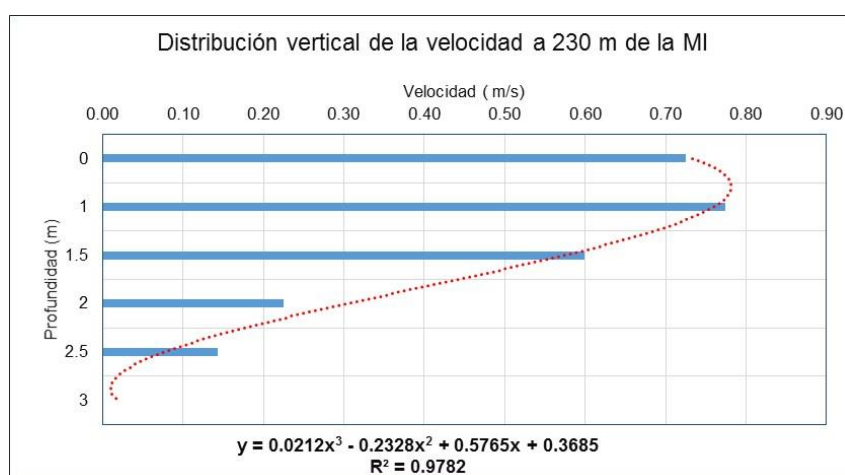


Figura 4-113. Perfil de velocidad vertical punto 230 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

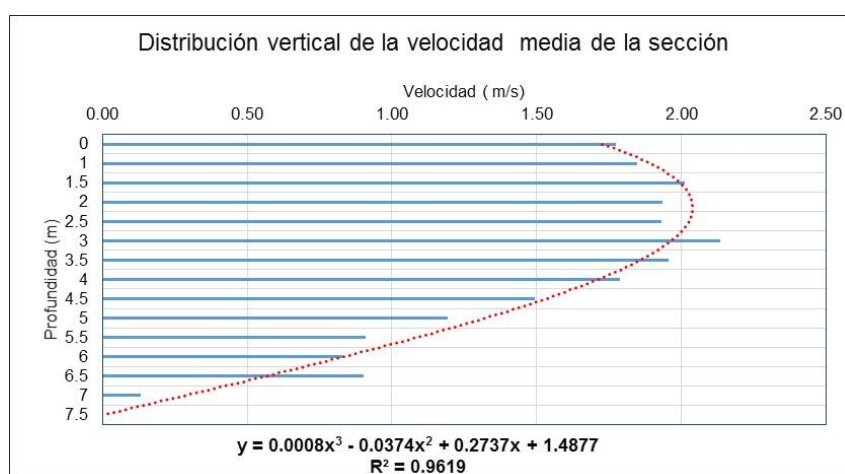


Figura 4-114. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

En relación a la distribución de la velocidad, a nivel horizontal, se observa que las mayores intensidades de la línea de corriente se ajustan hacia la margen derecha de la sección,

mientras que en la margen izquierda los valores de velocidades van disminuyendo, tal como se aprecia en la **Figura 4-115**, donde se han representado las velocidades para las profundidades de 0,0 m, 5,0 m y 6,5 metros.

Apreciamos además que la caja hidráulica de la sección, a medida que se va ganando profundidad vertical, los flujos de agua se concentran en la parte central, lo que nos indica que el cauce del río presenta características trapezoidales.

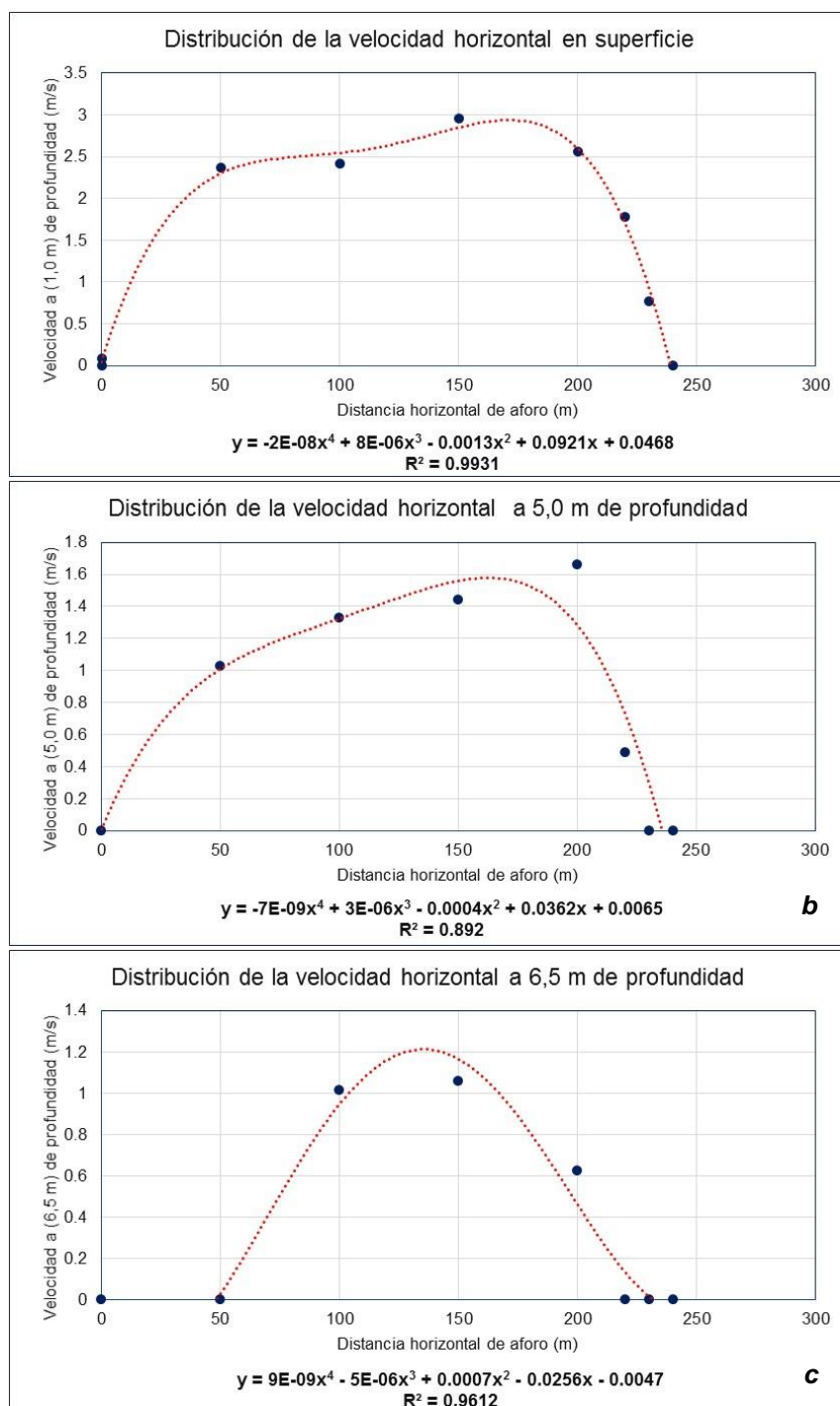


Figura 4-115. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 6,5 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

**b) Período enero / marzo:**

- Durante enero 2015:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 3,37 m/s, alcanzando un valor medio de 1,72 m/s.

La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 8,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 200 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades tanto a nivel superficial como a diferentes profundidades.

En el punto correspondiente a los 50 metros, se aprecia en la **Figura 4-116**, la distribución de la velocidad vertical la cual presenta un comportamiento variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado que permite representar en forma teórica el perfil de variabilidad de la velocidad desde el fondo del canal hasta la superficie libre de agua.

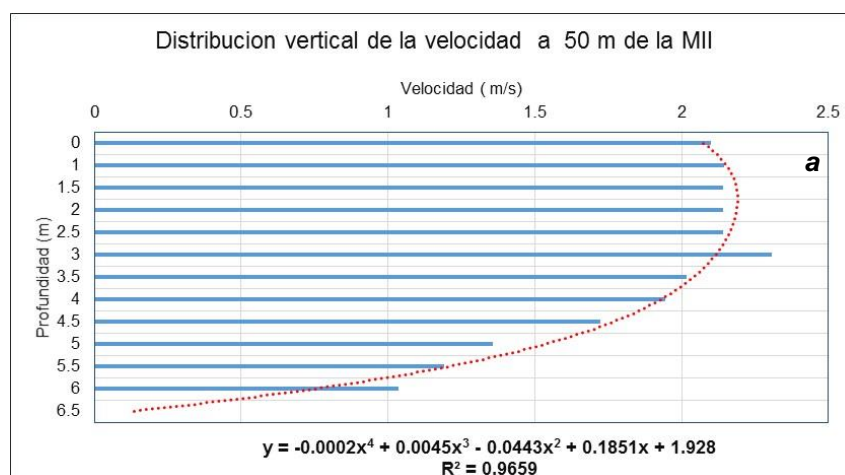


Figura 4-116. Perfil de velocidad vertical punto 50 m de la MI  
Fuente. Elaboración propia

Para nuestro caso apreciamos que el ajuste nos indica que la mayor velocidad se registra aproximadamente a una profundidad de 2,0 metros de la superficie (31%) y equivale a un valor de 2,15 m/s; mientras que a mayores profundidades la velocidad disminuye directamente proporcional hasta ser mínima en el lecho del río.

En la **Figura 4-117**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a la máxima profundidad (200 m de la margen izquierda), cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 3,37 m/s, alcanzado una media de 2,73 m/s. El perfil de velocidades, muestra claramente un patrón de comportamiento con dos niveles de crecimiento los cuales han sido ajustados mediante una expresión algebraica de cuarto grado que interpreta dicha variabilidad.

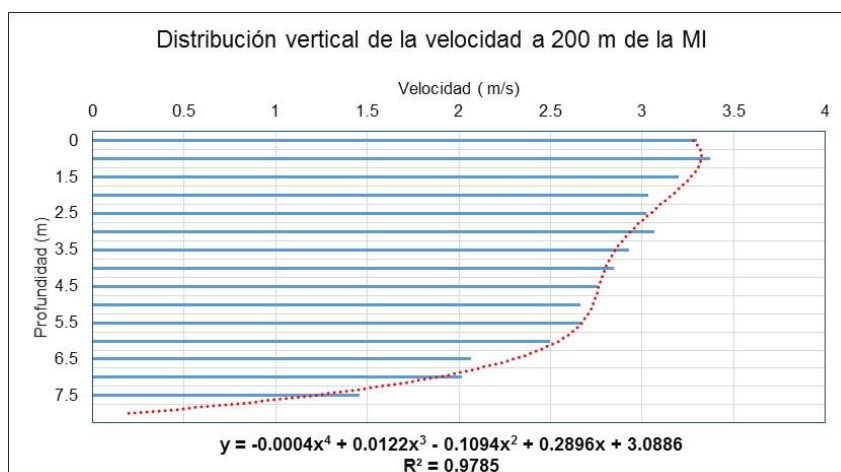


Figura 4-117. Perfil de velocidad vertical punto 200 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

El valor de la máxima velocidad queda representado a una profundidad aproximada de 1,5 m desde la superficie (20%), con un valor de 3,40 m/s que es aproximadamente igual al valor registrado en campo.

En la **Figura 4-118**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 300 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores es bien representada por una función algebraica de cuarto grado, donde los valores máximos se ubican por debajo de la superficie a una profundidad media de 2,0 metros (27%).

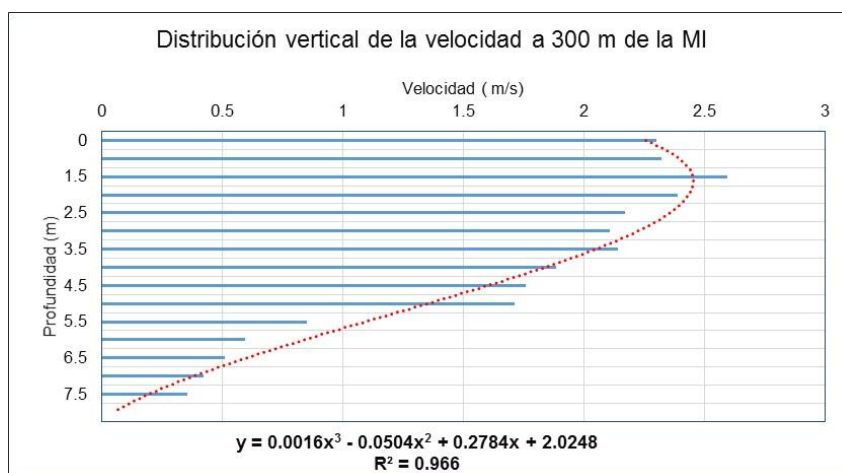


Figura 4-118. Perfil de velocidad vertical punto 300 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

De la serie de valores de velocidades registradas para esta estación de aforo, se obtuvo un perfil promedio general relacionado básicamente a la mayor profundidad y que se muestra en la **Figura 4-119**, donde claramente vemos como se distribuye el perfil de velocidades el cual ha sido ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, donde los mayores valores se registran a una profundidad media de 4,5 m (56%).

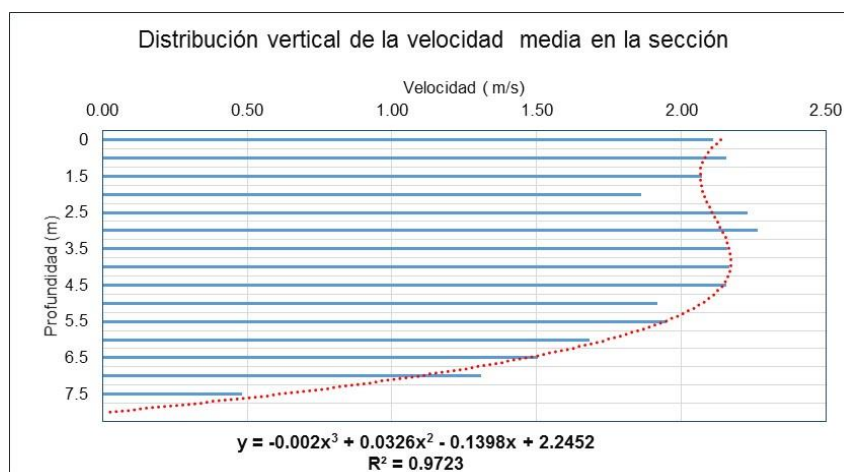


Figura 4-119. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

En relación a la distribución de la velocidad, a nivel horizontal, que se ha registrado en la estación de aforo, se ha podido encontrar comportamientos variables en función a la profundidad, lo que ha permitido conocer como es la predominancia de las líneas de corriente en dicha sección de aforo. Para nuestro caso, consideramos importante conocer dichos patrones a nivel superficial, medio y bajo.

- Durante febrero 2006/2007/2008/2013/2014:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 3,01 m/s, alcanzando un valor medio de 1,28 m/s. La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 9,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 200 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades tanto a nivel superficial como a diferentes profundidades.

Los valores de las velocidades registradas a los 50 metros, se aprecia en la **Figura 4-121**, donde la distribución de la velocidad vertical presenta un comportamiento variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado que permite representar en forma teórica el perfil de variabilidad de la velocidad desde el fondo del canal hasta la superficie.

Para este mes en particular, apreciamos que el ajuste nos indica que la mayor velocidad se registra aproximadamente a una profundidad de 3,0 m de la superficie (25%), con un valor medio de 2,80 m/s.

Los mayores valores de velocidades se registran justamente en la zona más profunda de la sección transversal (100 m de la margen izquierda), para la cual se ha determinado la distribución vertical de la velocidad, que se muestra en la **Figura 4-122**, donde los valores fluctúan entre 0,0 m/s y 3,01 m/s, con una media de 2,22 m/s.

El perfil de velocidad muestra un comportamiento variable en relación a la profundidad de la corriente, lo que ha permitido ajustar los valores a una expresión algebraica de cuarto grado,

la cual nos indica que las mayores velocidades se presentan en la superficie con un valor medio de 3,0 m/s.

En la **Figura 4-123**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 230 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores es bien representada por una función algebraica de cuarto grado, donde los valores máximos se ubica a una profundidad media de 1,5 m (17%).

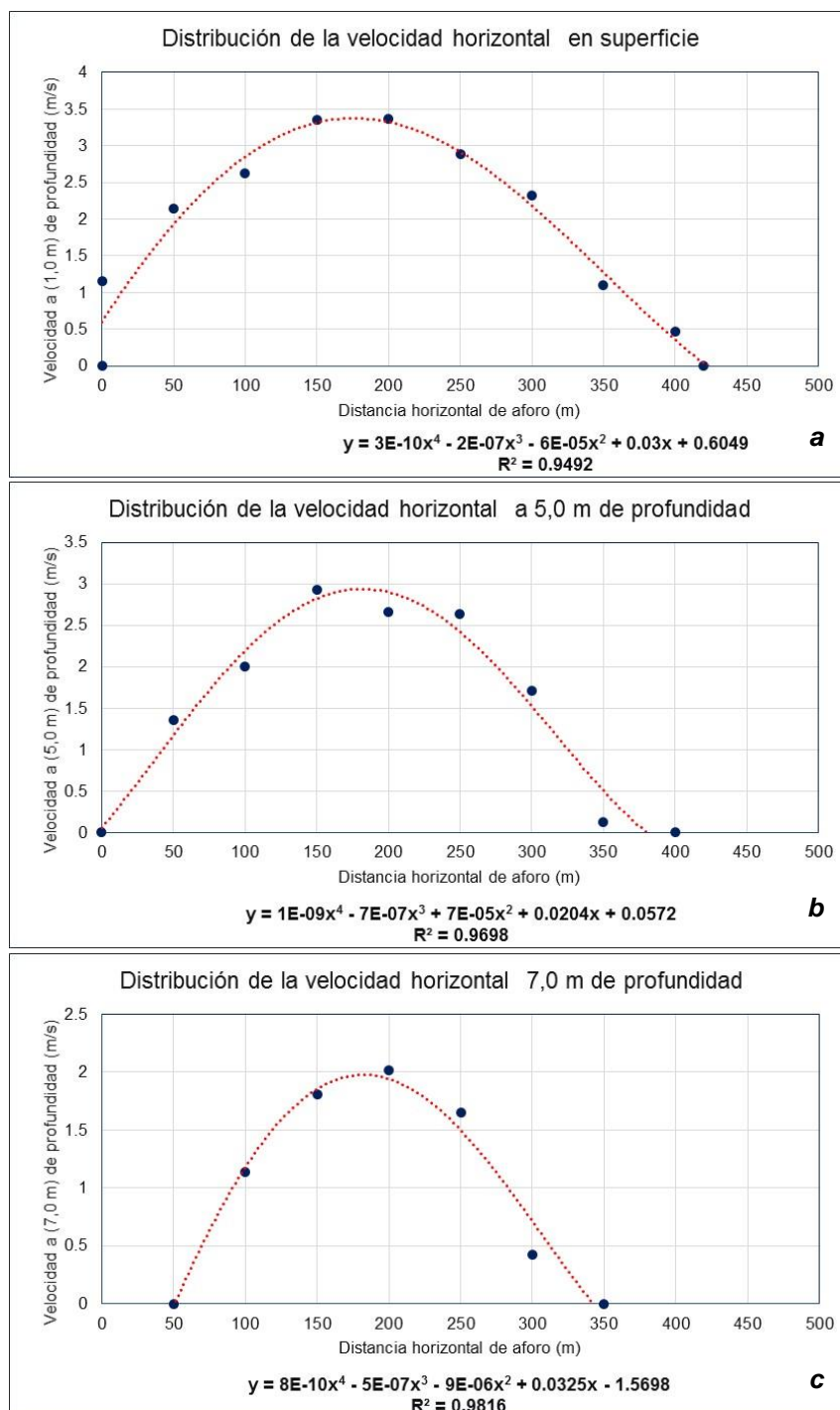


Figura 4-120. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades

a) Superficial, b) a 5,0 metros y c) a 7,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia



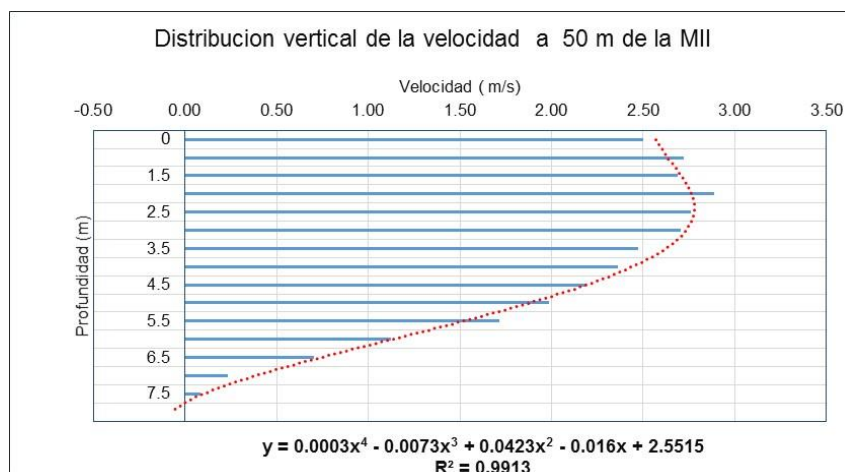


Figura 4-121. Perfil de velocidad vertical punto 50 m de la MI  
Fuente. Elaboración propia

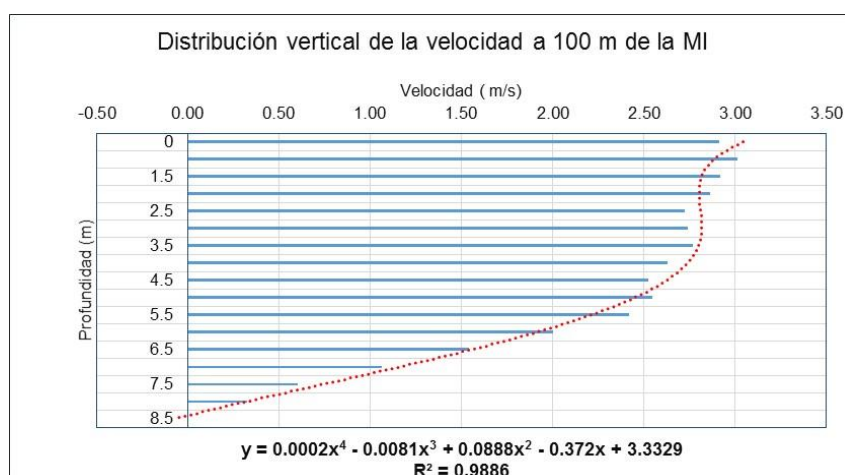


Figura 4-122. Perfil de velocidad vertical punto 100 m de la MI  
Fuente. Elaboración propia

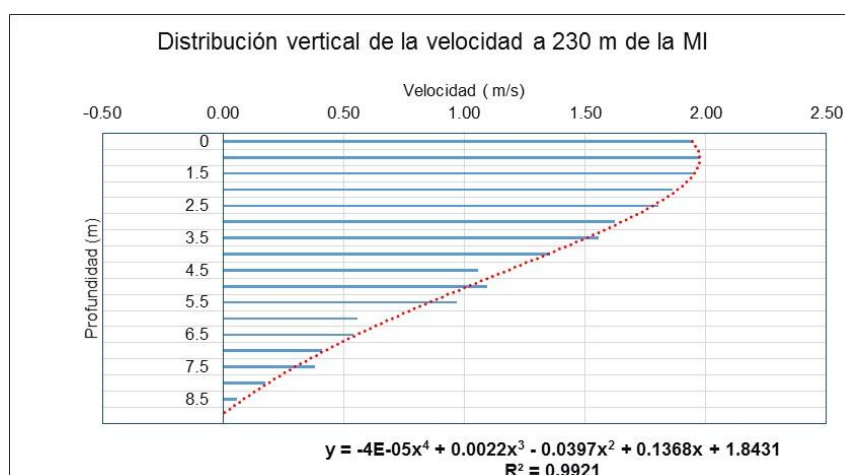


Figura 4-123. Perfil de velocidad vertical punto 230 m de la MI  
Fuente. Elaboración propia

Para las velocidades registradas, se obtuvo un perfil promedio general en relación a la profundidad; cuyos valores muestran un patrón de comportamiento variable con valores mínimos en la parte superior, tal como se muestra en la **Figura 4-124**. El ajuste obtenido a la serie de valores, ha permitido obtener una expresión algebraica de cuarto grado, donde el mayor valor se registra a una profundidad de 4,0 m (44%).

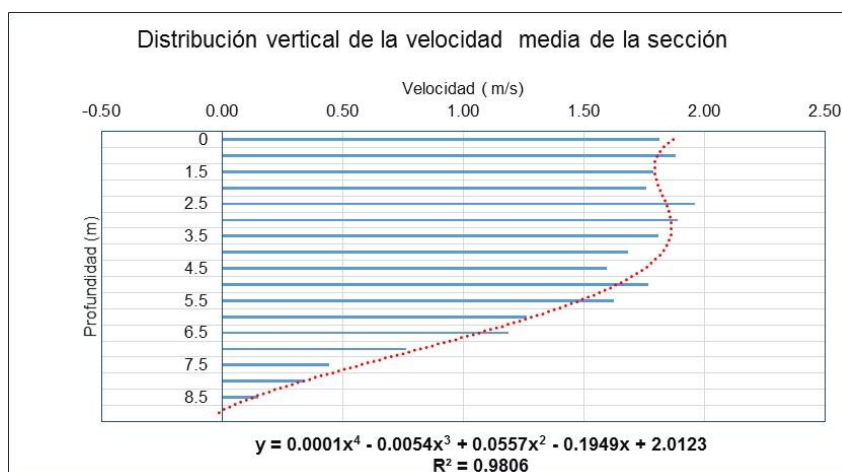


Figura 4-124. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

En relación a la distribución de la velocidad, a nivel horizontal, se observa que las mayores intensidades de las líneas de corrientes se ajustan hacia la margen izquierda de la sección; mientras que en la margen derecha los valores de velocidades van disminuyendo, tal como se aprecia en la **Figura 4-125**, donde se han representado las velocidades para cada una las profundidades que se han considerado en el análisis (0,0 m, 5,0 m y 8,0 m respectivamente).

- Durante marzo 2010:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 3,60 m/s, alcanzando un valor medio de 1,94 m/s. La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 09,0 m, valor que se ubica aproximadamente a 100 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades tanto a nivel superficial como a diferentes profundidades.

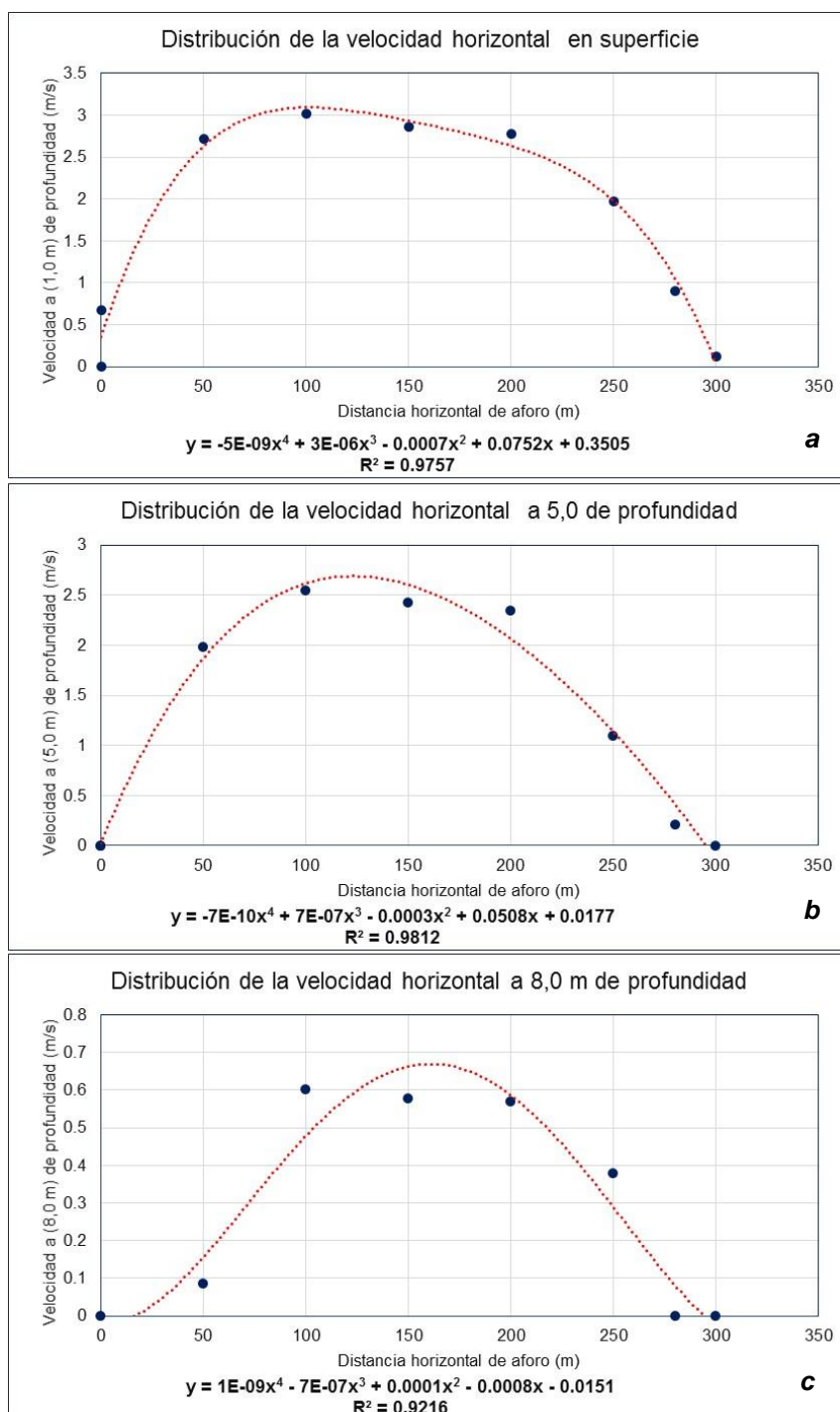


Figura 4-125. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades

a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 8,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

Los valores de las velocidades registradas a los 50 metros de la margen izquierda, se muestra en la **Figura 4-126**, donde la distribución de la velocidad vertical presenta un comportamiento uniforme en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar una expresión algebraica de cuarto grado que permite representar en forma teórica el perfil de variabilidad de la velocidad desde el fondo del canal hasta la superficie.

**c**

El análisis, no indica que la mayor velocidad se registra aproximadamente a una profundidad de 1,5 metros de la superficie (20%) y equivale a un valor de 3,15 m/s; mientras que la velocidad media de la vertical es de 2,66 m/s que se estaría ubicando a una profundidad media de 4,25 m desde la superficie. Los mayores valores de velocidades se registran a una distancia de 100 metros de la margen izquierda, para la cual se ha determinado que la distribución vertical de la velocidad, que se muestra en la **Figura 4-127**, mantiene un comportamiento uniforme con valores fluctúan entre 0,0 m/s y 3,51 m/s, alcanzando una media de 2,96 m/s.

La expresión algebraica obtenida en el ajuste de los valores plotados, ha permitido obtener una ecuación de cuarto grado, que nos indica que las mayores velocidades se presentan a una profundidad de 1,5 metros de la superficie (18%); mientras que la velocidad media es de 2,96 m/s, y se presenta a una profundidad media de 7 metros.

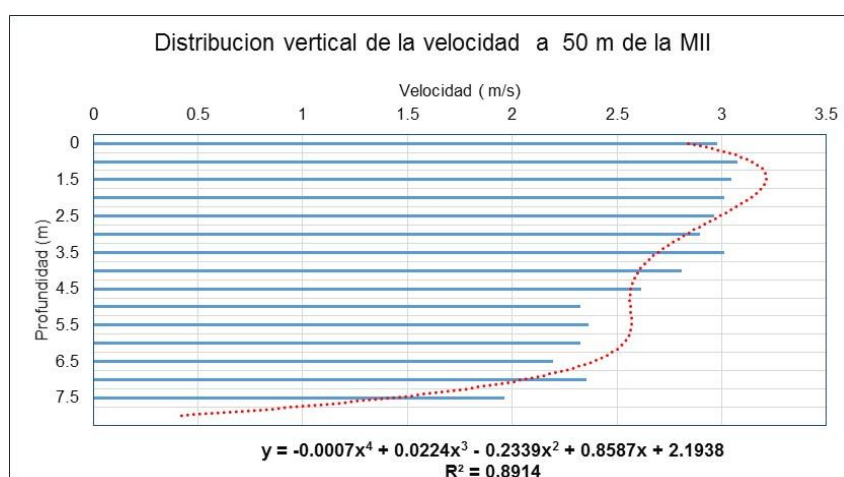


Figura 4-126. Perfil de velocidad vertical punto 50 m de la MI  
Fuente. Elaboración propia

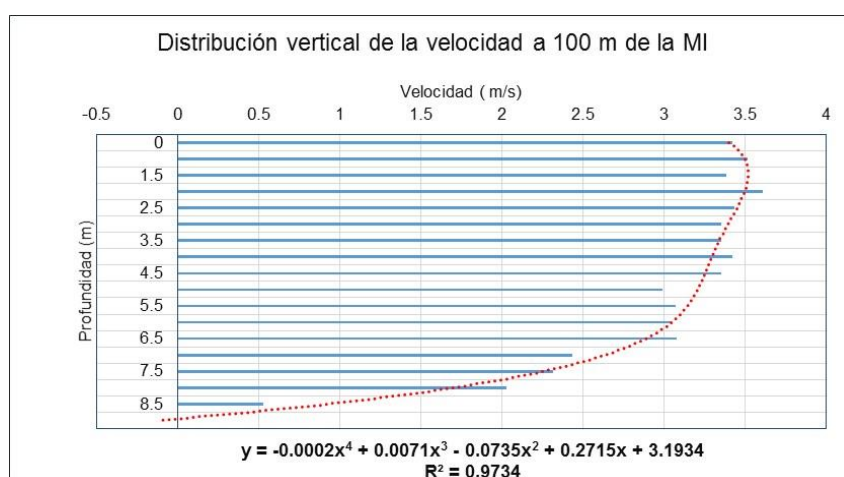


Figura 4-127. Perfil de velocidad vertical punto 100 m de la MI  
Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-128**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 250 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores ha sido bien representado por una función algebraica de cuarto grado donde la velocidad máxima se ubica en la superficie. La variabilidad de las velocidades ha permitido obtener un valor medio de 1,92 m/s, valor que aproximadamente se ubicaría a una profundidad media de 5,3 m medido de la superficie.

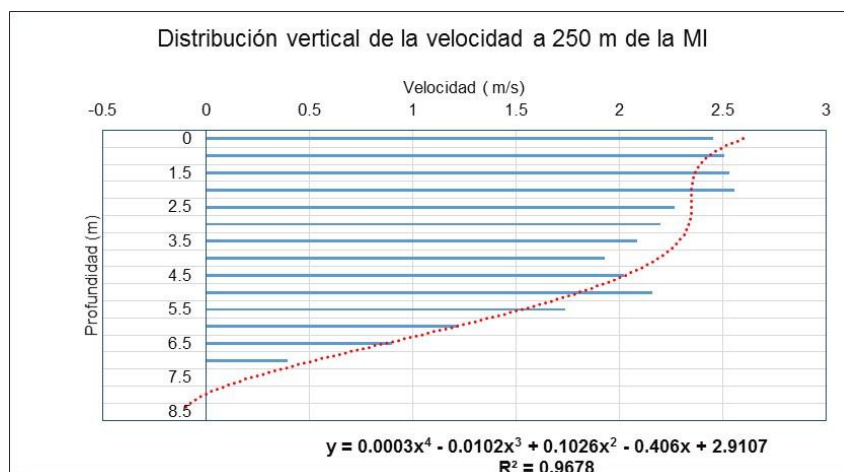


Figura 4-128. Perfil de velocidad vertical punto 250 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

A nivel de la velocidad promedio de la sección de aforo (**Figura 4-129**), se tienen valores que oscilan entre 0,0 m/s y 2,63 m/s, alcanzando una media de 2,30 m/s, el cual se ubicaría a una profundidad media desde la superficie en 6,0 metros.

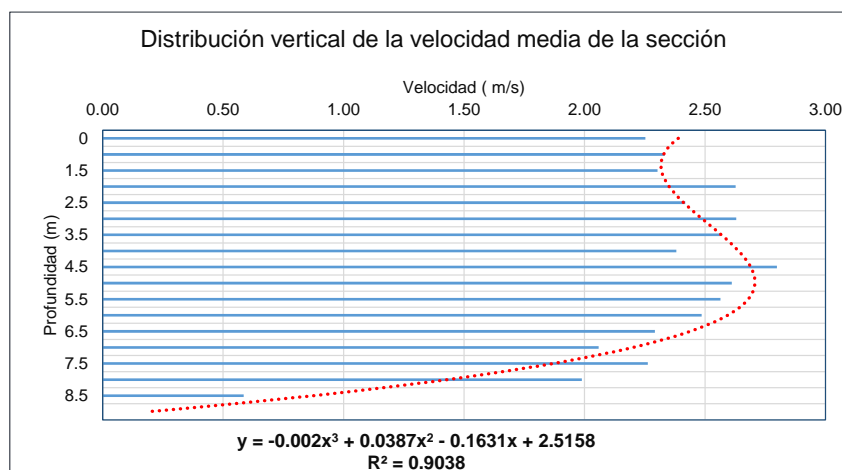


Figura 4-129. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

En relación a la distribución de la velocidad, a nivel horizontal, se observa que las mayores intensidades de la línea de corriente se ajustan hacia la margen izquierda de la sección, mientras que en la margen derecha los valores de velocidades van disminuyendo, tal como se aprecia en la **Figura 4-130**, donde se han representado las velocidades para cada una las

profundidades de 0,0 m, 5,0 m y 8,0 metros. La caja hidráulica se va reduciendo a media que y centrándose en la parte central del canal.

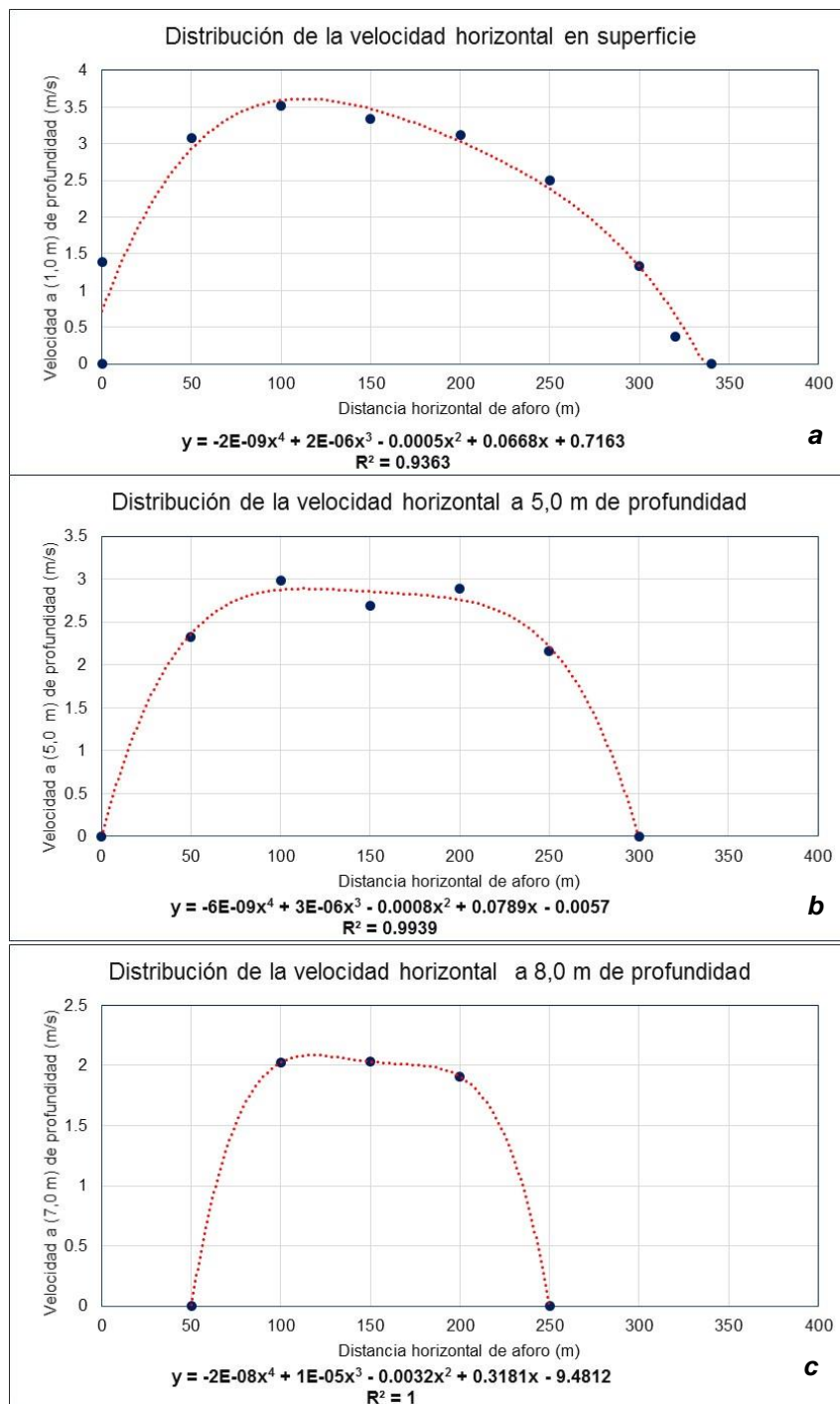


Figura 4-130. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 8,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

#### 4.4.3 Estación Yurimaguas

Iniciaremos analizando los resultados que se generaron para cada uno de los períodos considerados en el proceso, obteniéndose lo siguiente:

Para ello hemos considerado importante definir algunos criterio básicos que nos ayudarán a enmarcar el procesos de análisis y obtener una caracterización del perfil de velocidades en cada una de las secciones transversales de aforo.

- Se realizara el análisis para los períodos comprendido entre vaciante y creciente
- Se determinara para cada mes, el valor promedio de distribución de velocidades
- Para las velocidades representativas, se tomaran los puntos correspondientes a las zonas comprendidas entre:
  - o Margen izquierda
  - o Margen central
  - o Margen derecha
- Se definirán las distribuciones de velocidades horizontales de la sección para *tres puntos*:
  - o Superficial
  - o Media
  - o Fondo

Para esta estación se obtuvieron una total de 03 perfiles de distribución de velocidades, las cuales fueron distribuidas tal como se muestra en la **Tabla 4-13**, obteniéndose los mayores perfiles para julio y febrero con un total de 3.

Tabla 4-13. Secciones hidráulicas con velocidades

Periodos	Julio	Diciembre
1	2010	2010

Fuente: elaboración propia

En la **Figura 4-131**, se muestra la distribución de la velocidad media de la sección de aforo, apreciándose que las mayores velocidades se concentran en la margen derecha del río.

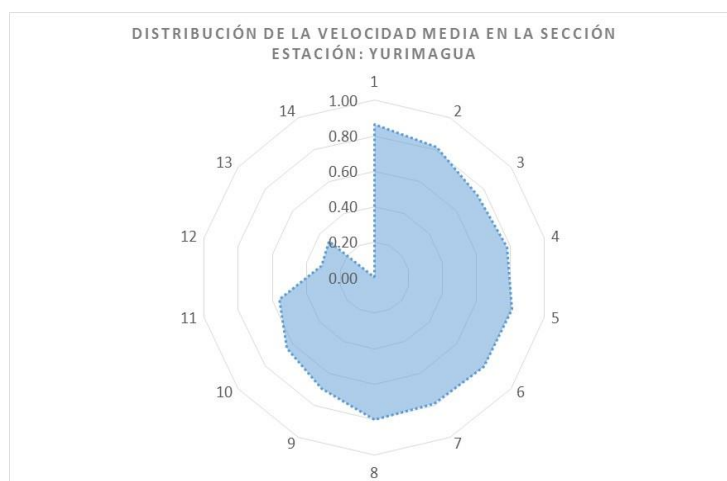


Figura 4-131. Distribución de la velocidad media de la sección del río

Fuente: Elaboración propia



**a) Periodo julio / Diciembre**

- Durante julio 2010:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 1,18 m/s, alcanzando un valor medio de 0,68 m/s. La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 7,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 60 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades tanto a nivel superficial como a diferentes profundidades.

En el punto correspondiente a los 60 metros, se aprecia en la **Figura 4-132**, la distribución de la velocidad vertical presenta un comportamiento variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado; la cual permite representar en forma teórica el perfil de la velocidad desde el fondo del canal hasta la superficie libre de agua.

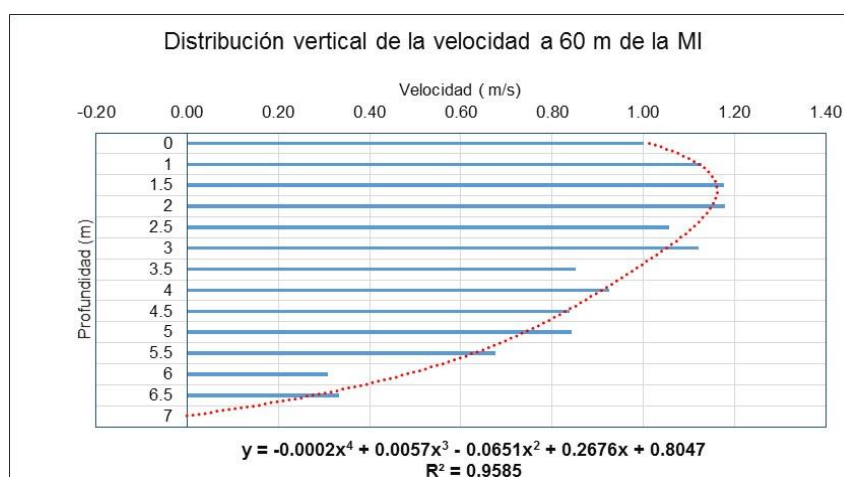


Figura 4-132. Perfil de velocidad vertical punto 60 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

Para nuestro caso apreciamos que el ajuste nos indica que la mayor velocidad se registra aproximadamente a una profundidad de 2,0 metros de la superficie (29%) y equivale a un valor de 1,18 m/s. Además, la velocidad media es de 0,88 m/s que se ubica aproximadamente a 4,5 m desde la superficie.

En la **Figura 4-133**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a una distancia de la margen izquierda de 150 metros, cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 1,11 m/s, alcanzado una media de 0,86 m/s, valor que se ubica aproximadamente a una profundidad media de 3,5 metros desde la superficie de agua.

El perfil de velocidades, muestra claramente un patrón de comportamiento variable desde el fondo hacia la superficie. A través de una expresión algebraica de cuarto grados, hemos obtenido una ecuación que describa el régimen de velocidades presentándose los mayores valores por debajo de la superficie del agua a una profundidad de 2,0 metros (36%) con un valor de 1,11 m/s.

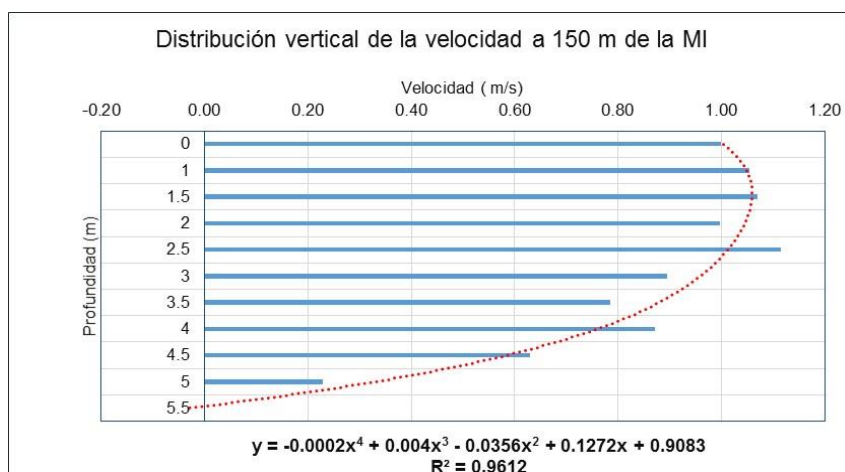


Figura 4-133. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-134**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 210 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores fluctúa entre 0,0 m/s a 0,85 m/s, alcanzando un valor medio de 0,64 m/s; que se ubica aproximadamente a una profundidad de 3,0 m desde la superficie del agua. La velocidad máxima para esta vertical se presenta en la superficie con un valor medio de 0,81 m/s.

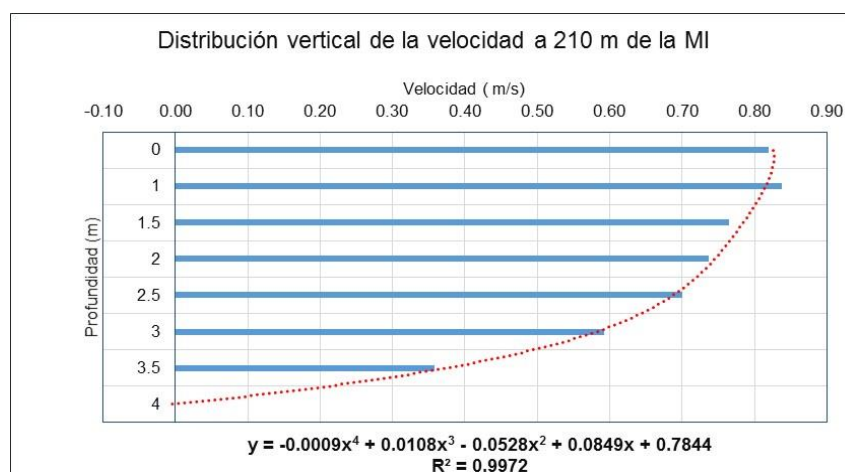


Figura 4-134. Perfil de velocidad vertical punto 210 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

La velocidad media para esta sección se ha determinado sobre la base de los valores registrados en cada una de las verticales y a nivel de profundidad, obteniendo la **Figura 4-135**, donde claramente apreciamos como se distribuye el perfil de velocidades el cual ha sido ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, donde los mayores valores se registran en la superficie del agua con un valor medio de 0,85 m/s.

En relación a la distribución de la velocidad, a nivel horizontal, que se ha registrado en la estación de aforo, se ha podido encontrar comportamientos variables en función a la profundidad, lo que ha permitido conocer como es la predominancia de las líneas de corriente

en dicha sección de aforo. Para nuestro caso, consideramos importante conocer dichos patrones a nivel superficial, medio y bajo.

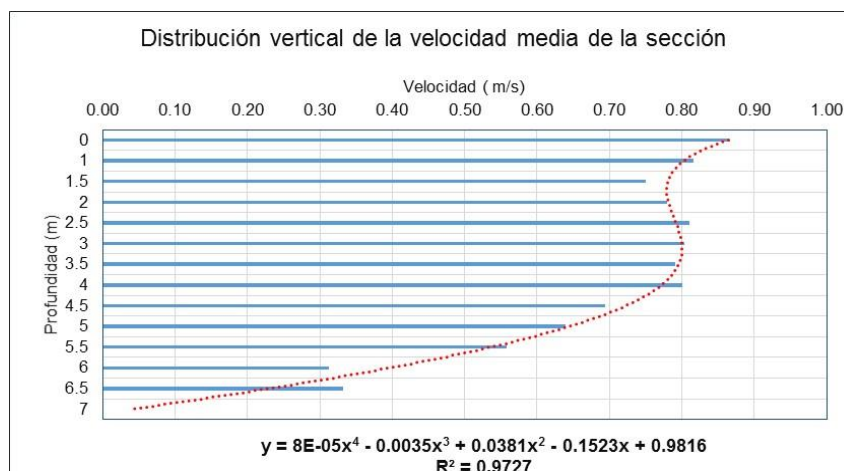


Figura 4-135. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

La distribución de la velocidad horizontal del agua a diferentes niveles de profundidades se muestran en la **Figura 4-136**, donde se ha representado los valores a 0,0 m, 2,5 m y 5,0 metros de profundidad; apreciándose claramente como el comportamiento de la velocidad a nivel superficial y sub superficial se orientada ligeramente hacia la margen izquierda del río, donde se ubica la caja hidráulica de la sección; mientras que la margen derecha sufre un proceso de acortamiento debida a las condiciones de procesos de colmatación por velocidades bajas.

- Durante Diciembre 2010:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 1,49 m/s, alcanzando un valor medio de 0,97 m/s.

La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 8,5 m, justamente dicho valor se encuentra a 60 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades. En la **Figura 4-137**, se aprecia la distribución de la velocidad vertical cuyo comportamiento es variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado, permitiendo representar teóricamente el perfil de la velocidad desde el fondo del canal hasta la superficie libre de agua. El ajuste realizado nos indica que la mayor velocidad se registra a una profundidad de 2,0 metros de la superficie (24%) y equivale a un valor de 1,45 m/s. Además, la velocidad media es de 1,14 m/s que se ubica a 5,5 m desde la superficie.

En la **Figura 4-138**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a una distancia de la margen izquierda de 150 metros, cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 1,33 m/s, alcanzado una media de 1,07 m/s, valor que se ubica aproximadamente a una profundidad media de 5,0 metros desde la superficie de agua.

El perfil de velocidades, muestra claramente un patrón de comportamiento variable desde el fondo hacia la superficie. A través de una expresión algebraica de cuarto grados, hemos obtenido una ecuación que describa el régimen de velocidades donde los mayores valores en la superficie del agua con un valor medio de 1,35 m/s.

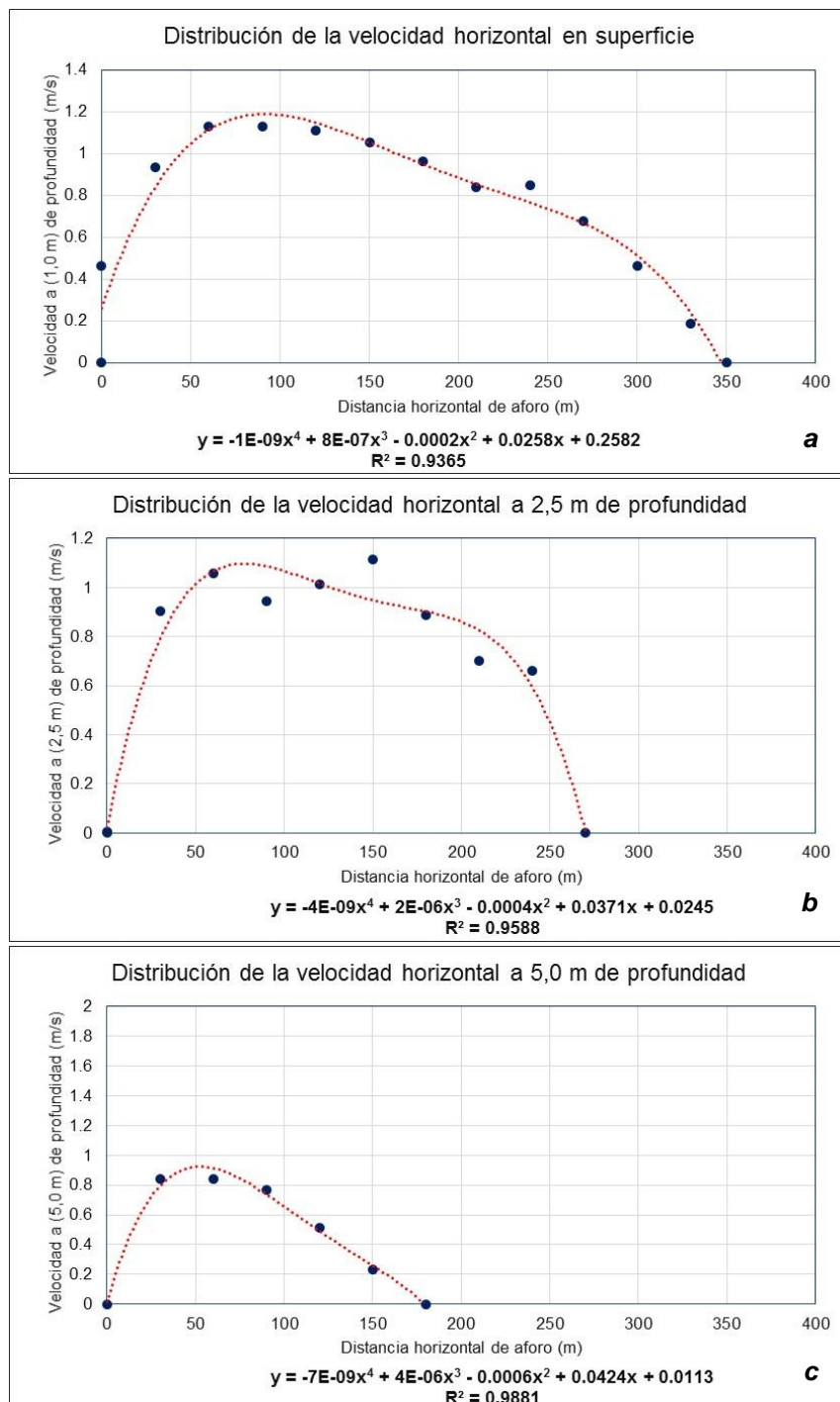


Figura 4-136. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades. a) Superficial, b) 2,5 metros y c) 5,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

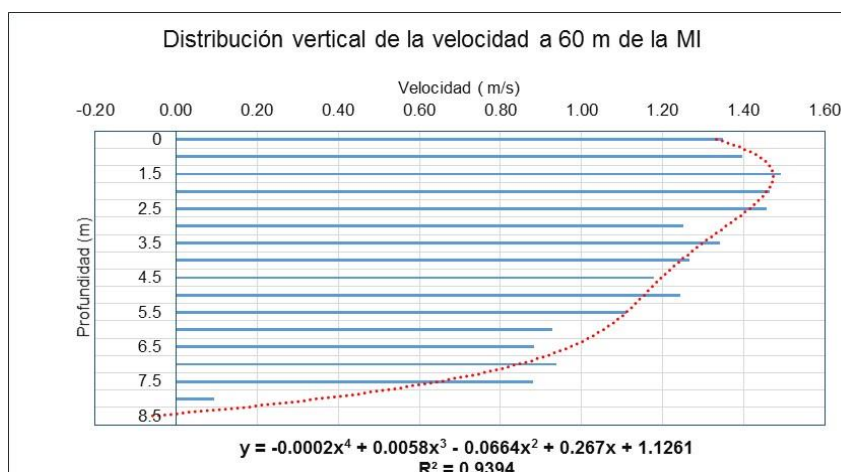


Figura 4-137. Perfil de velocidad vertical punto 60 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

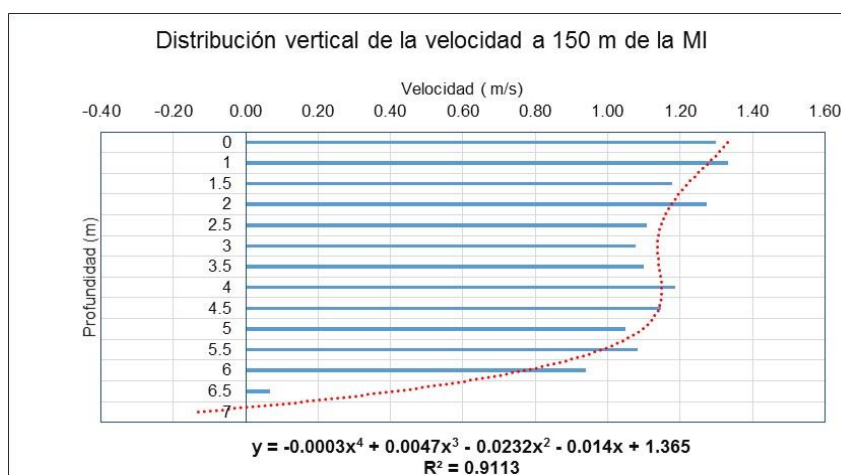


Figura 4-138. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-139**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 240 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores fluctúa entre 0, m/s a 1,325 m/s, alcanzando un valor medio de 1,05 m/s; que se ubica aproximadamente a una profundidad de 3,0 m desde la superficie del agua. La velocidad máxima para esta vertical se presenta a una profundidad media de 1,5 metros desde la superficie, con un valor de 1,25 m/s.

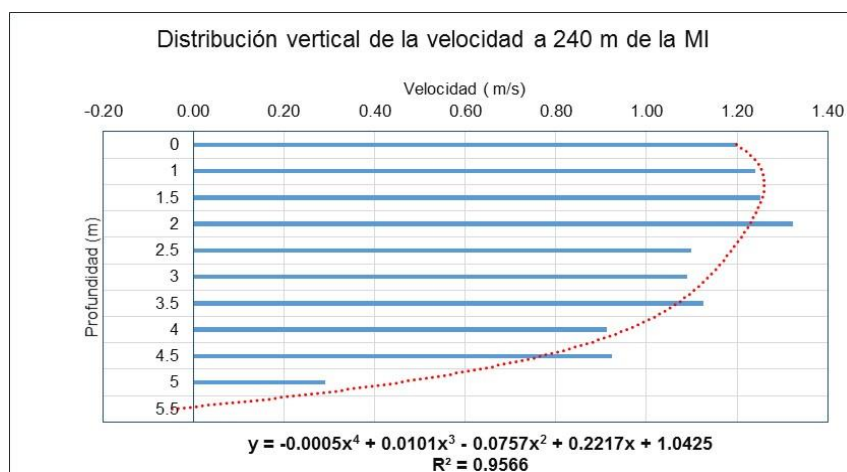


Figura 4-139. Perfil de velocidad vertical punto 240 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

La velocidad media para esta sección se ha determinado sobre la base de los valores registrados en cada una de las verticales y a nivel de profundidad, obteniendo la **Figura 4-140**, donde claramente apreciamos como se distribuye el perfil de velocidades y que ha sido ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, donde los mayores valores se registran a una profundidad media de 2,0 metros (24%), con una velocidad de 1,18 m/s.

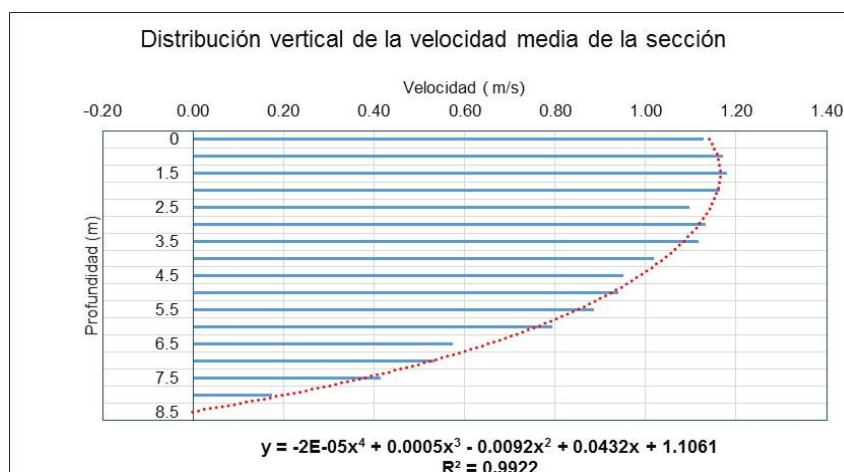


Figura 4-140. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

La distribución de la velocidad horizontal del agua a diferentes niveles de profundidades se muestran en la **Figura 4-141**, donde se ha representado los valores a 0,0 m, 4,5 m y 7,0 metros de profundidad; apreciándose claramente como el comportamiento de la velocidad a nivel superficial y sub superficial se orientada ligeramente hacia la margen izquierda del río, donde se ubica la caja hidráulica de la sección; mientras que la margen derecha sufre un proceso de acortamiento debida a las condiciones de procesos de colmatación por velocidades bajas.

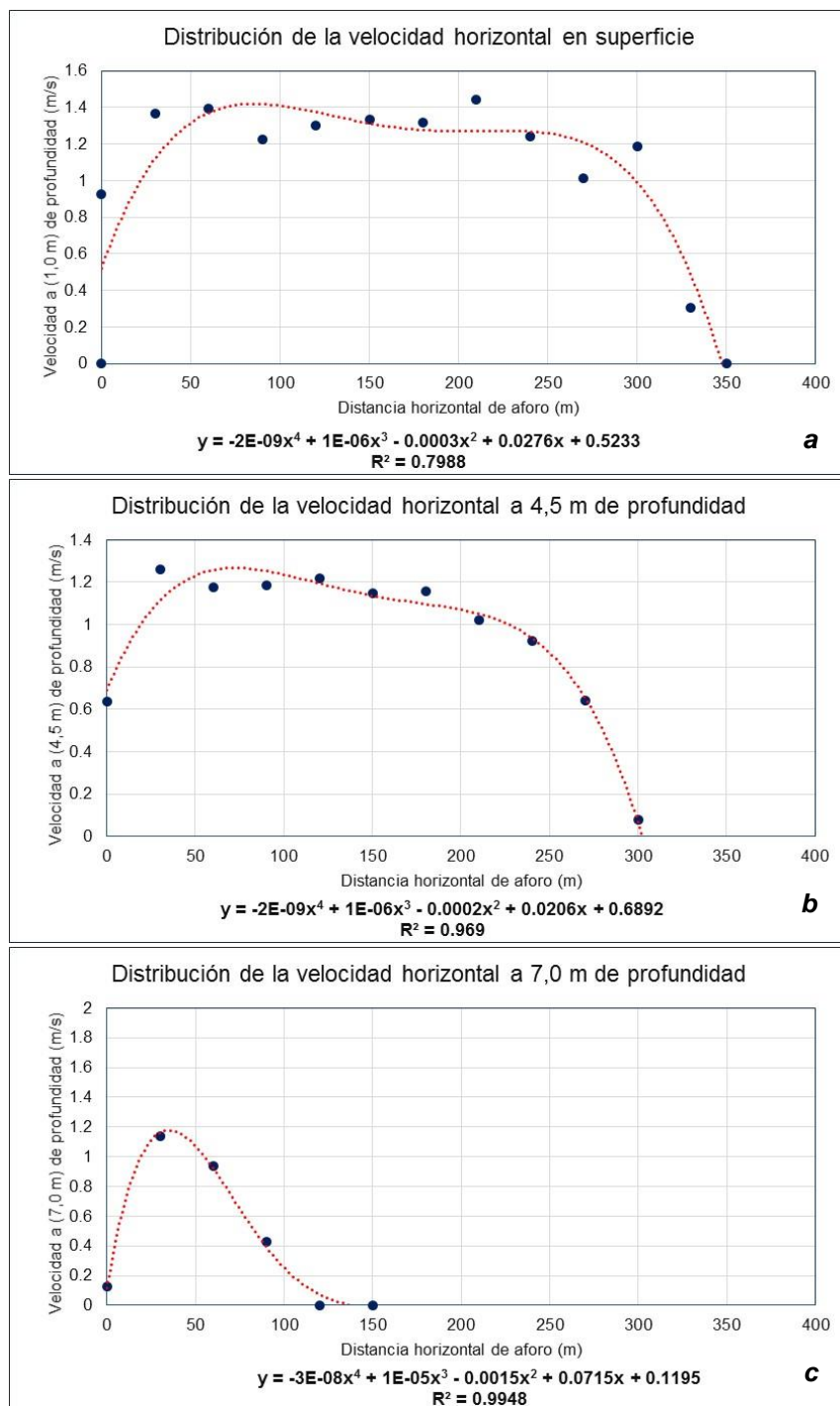


Figura 4-141. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades

a) Superficial, b) 4,5 metros y c) 7,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

#### 4.4.4 Estación Nueva York

Iniciaremos analizando los resultados que se generaron para cada uno de los períodos considerados en el proceso, obteniéndose lo siguiente:



Para ello hemos considerado importante definir algunos criterio básicos que nos ayudarán a enmarcar el procesos de análisis y obtener una caracterización del perfil de velocidades en cada una de las secciones transversales de aforo.

- Se realizara el análisis para los períodos comprendido entre vaciante y creciente
- Se determinara para cada mes, el valor promedio de distribución de velocidades
- Para las velocidades representativas, se tomaran los puntos correspondientes a las zonas comprendidas entre:
  - o Margen izquierda
  - o Margen central
  - o Margen derecha
- Se definirán las distribuciones de velocidades horizontales de la sección para tres puntos:
  - o Superficial,
  - o Media,
  - o Fondo

Para esta estación se obtuvieron una total de 03 perfiles de distribución de velocidades, las cuales fueron distribuidas tal como se muestra en la **Tabla 5.4**, obteniéndose los mayores perfiles para setiembre, febrero, abril y mayo con un total de 7.

Tabla 4-14. Secciones hidráulicas con velocidades

Periodos		Setiembre	
1		2006 y 2009	
	Febrero	Abril	Mayo
	2009	2008	2006, 2007, 2009

Fuente: elaboración propia

En la **Figura 4-142** se muestra la distribución de la velocidad media de la sección de aforo, apreciándose que las mayores velocidades se concentran en la margen derecha del río.

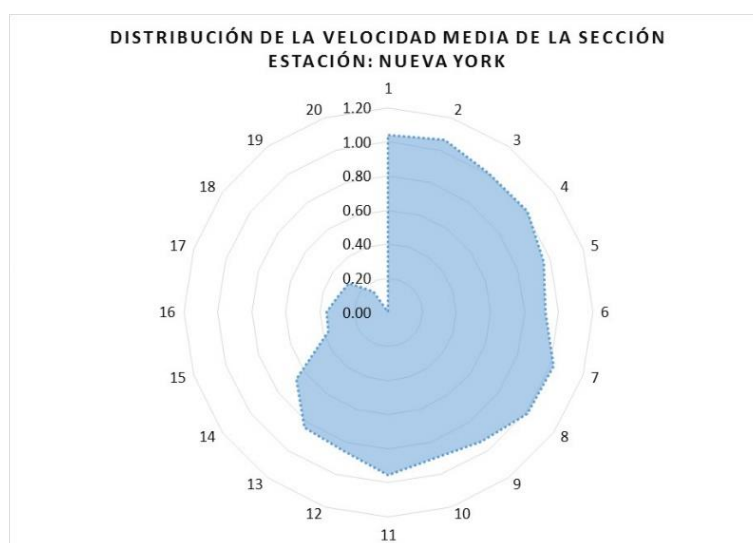


Figura 4-142. Distribución de la velocidad media de la sección del río

Fuente: Elaboración propia

**a) Periodo Setiembre**

- Durante setiembre 2006 / 2009:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 1,23 m/s, alcanzando un valor medio de 0,60 m/s.

La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 11,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 30 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades a nivel superficial y sub superficial.

En el punto correspondiente a los 30 metros, en la **Figura 4-143**, se muestra la distribución de la velocidad vertical con un comportamiento variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado; la cual permite representar en forma teórica el perfil de la velocidad.

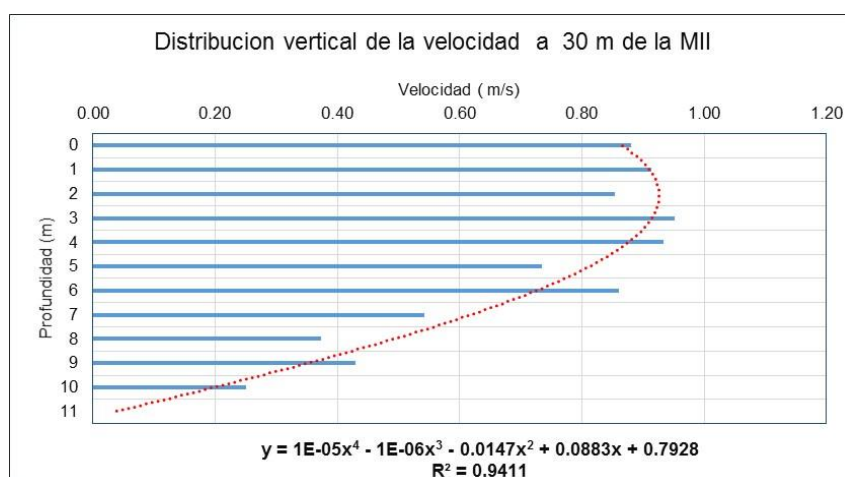


Figura 4-143. Perfil de velocidad vertical punto 30 m de la MI  
Fuente. Elaboración propia

Para nuestro caso apreciamos que el ajuste nos indica que la mayor velocidad se registra aproximadamente a una profundidad de 3,0 metros de la superficie (27%) y equivale a un valor de 0,92 m/s. Además, la velocidad media es de 0,70 m/s que se ubica aproximadamente a 5,0 m desde la superficie.

En la **Figura 4-144**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a una distancia de la margen izquierda de 150 metros, cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 0,93 m/s, alcanzado una media de 0,66 m/s, valor que se ubica aproximadamente a una profundidad media de 6,0 metros desde la superficie de agua.

Según los datos de velocidades, el perfil de distribución muestra un comportamiento variable desde el fondo hacia la superficie, permitiendo generar un ajuste teórico a través de una expresión algebraica de cuarto grados, cuya ecuación nos indica que las mayores velocidades se presentan a una profundidad de 4,0 metros (40%) con un valor de 0,81 m/s.

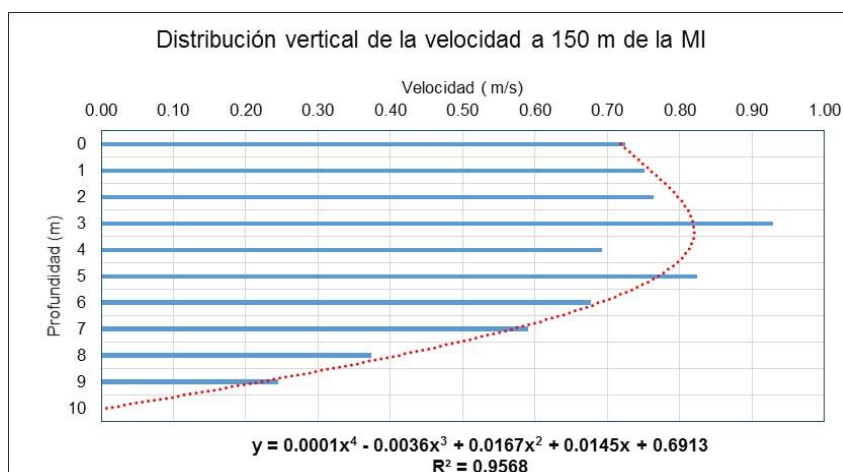


Figura 4-144. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-145**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 205 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores fluctúa entre 0, m/s a 0,46 m/s, alcanzando un valor medio de 0,36 m/s; que se ubica a una profundidad de 5,0 m de la superficie. La velocidad máxima se presenta a una profundidad de 1,5 metros.

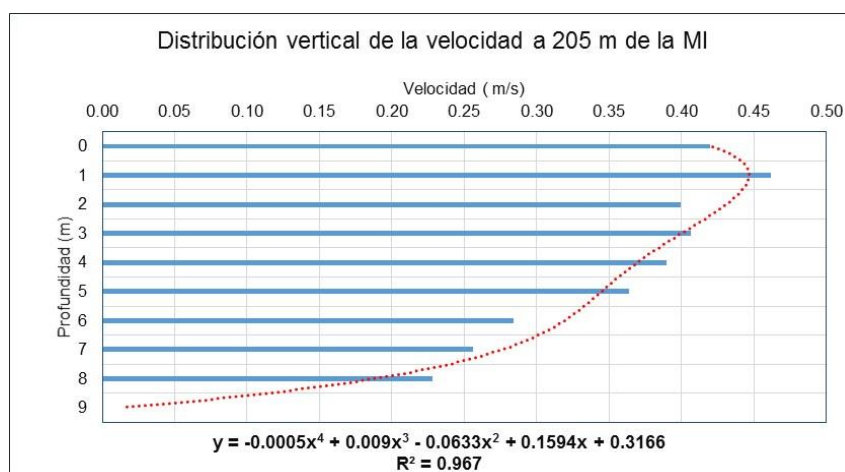


Figura 4-145. Perfil de velocidad vertical punto 205 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

La velocidad media para esta sección se ha determinado sobre la base de los valores registrados en cada una de las verticales y a nivel de profundidad, obteniendo la **Figura 4-146**, donde claramente apreciamos una distribución uniforme del perfil de velocidades; al cual se le ha ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, que nos muestra que las mayores velocidades se presentan a una profundidad media de 4,0 metros (36%) con un valor medio de 0,73 m/s.

En relación a la distribución de la velocidad horizontal, hemos determinado que la sección transversal de aforo se mantiene invariable a nivel de toda la profundidad, lo que permite que las líneas de corriente ocupen toda la caja hidráulica.

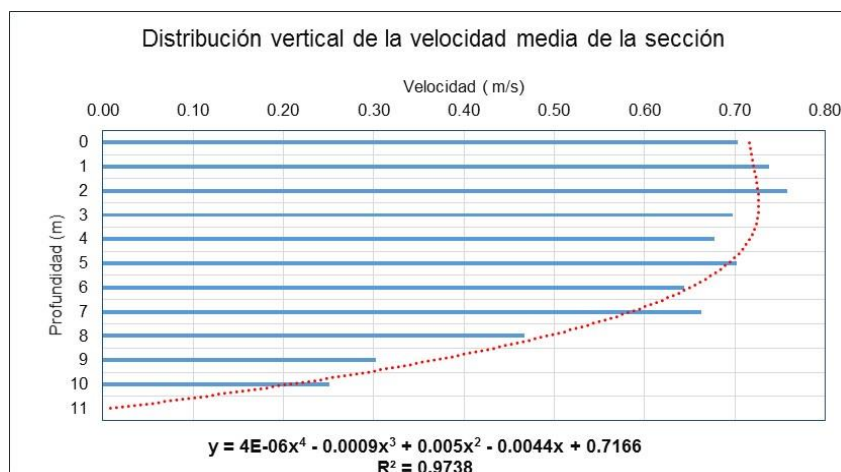


Figura 4-146. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

El análisis de la distribución de la velocidad horizontal, se ha realizado teniendo en consideración los puntos ubicados a nivel de superficie, 5,0 m y 9,0 m de profundidad. En la **Figura 4-147**, se han representado los valores de las velocidades apreciándose un comportamiento uniforme de la velocidad a nivel superficial y sub superficial, predominando la margen izquierda con los mayores flujos de agua.

#### **b) Periodo febrero / mayo**

- Durante febrero 2009:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 1,69 m/s, alcanzando un valor medio de 1,06 m/s.

La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 16,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 60 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades

En la **Figura 4-148**, se aprecia la distribución de la velocidad vertical cuyo comportamiento es variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado, permitiendo representar teóricamente el perfil de la velocidad desde el fondo del canal hasta la superficie libre de agua.

El ajuste realizado nos indica que la mayor velocidad se registra a una profundidad de 2,5 metros de la superficie (16%) cuyo valor es de 1,60 m/s. Además, la velocidad media es de 1,43 m/s que se ubica a una profundidad media de 10,5 m desde la superficie.

En la **Figura 4-149**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a una distancia de la margen izquierda de 150 metros, cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 1,25 m/s, alcanzado una media de 1,03 m/s, valor que se ubica aproximadamente a una profundidad media de 10 metros desde la superficie de agua.

El perfil de velocidades, muestra claramente un patrón de comportamiento variable desde el fondo hacia la superficie. A través de una expresión algebraica de cuarto grados, hemos obtenido una ecuación que describa el régimen de velocidades donde los mayores valores se presentan a una profundidad media de 6,0 metros desde la superficie con un valor medio de 1,19 m/s.

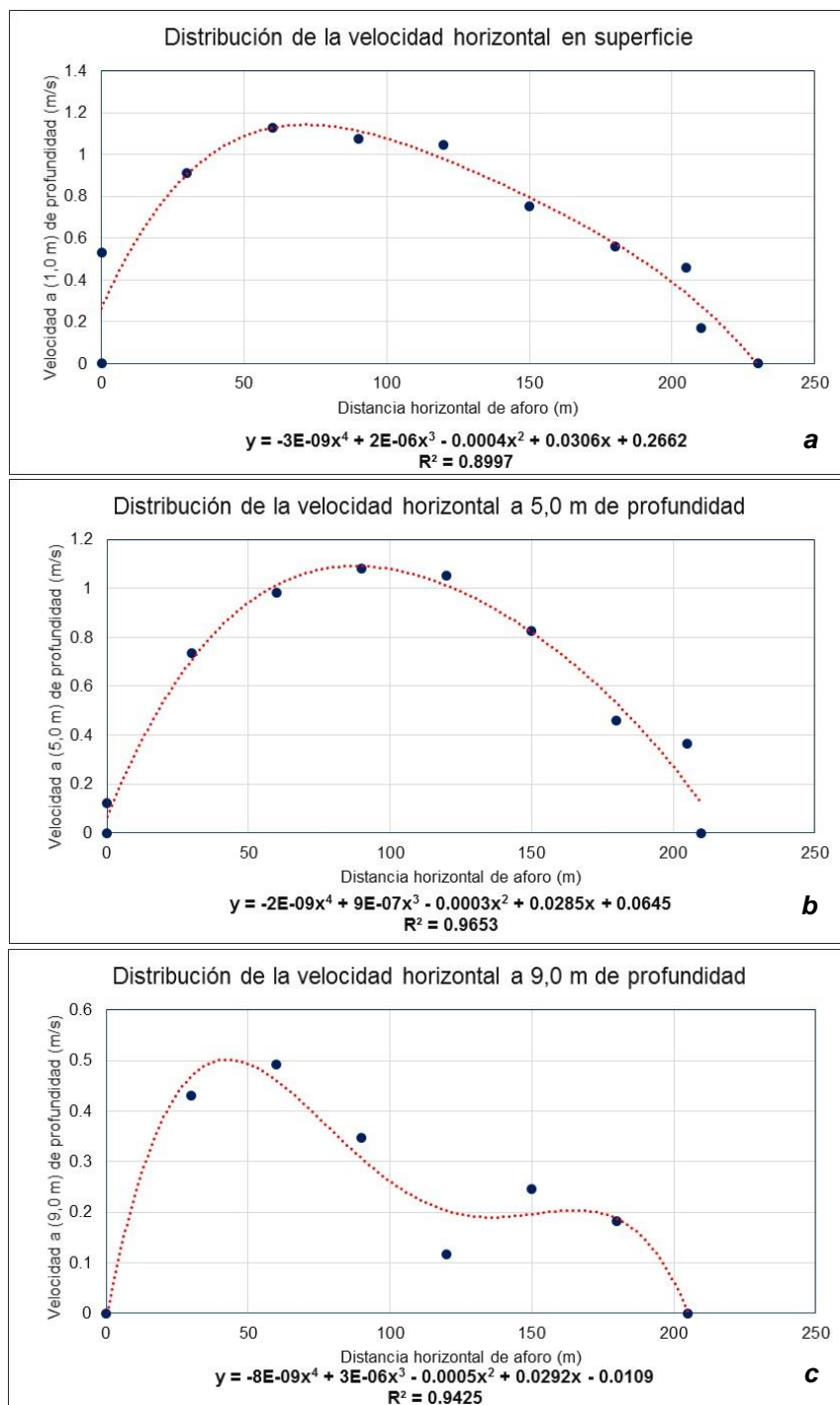


Figura 4-147. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades

a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 9,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

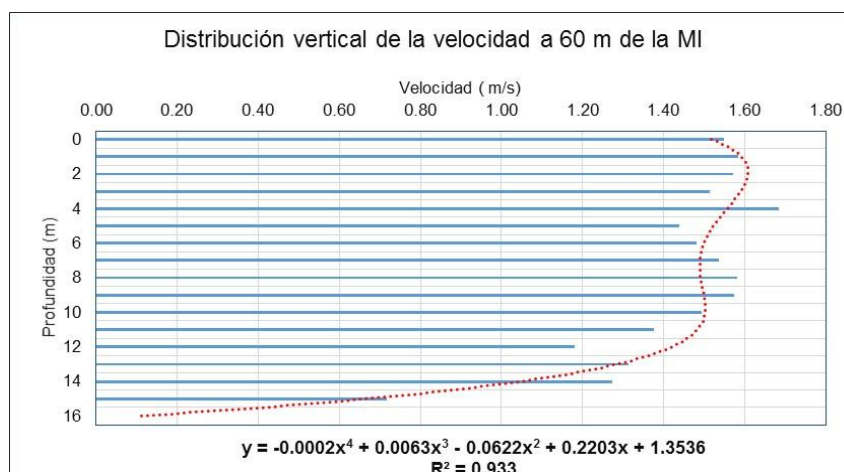


Figura 4-148. Perfil de velocidad vertical punto 60 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

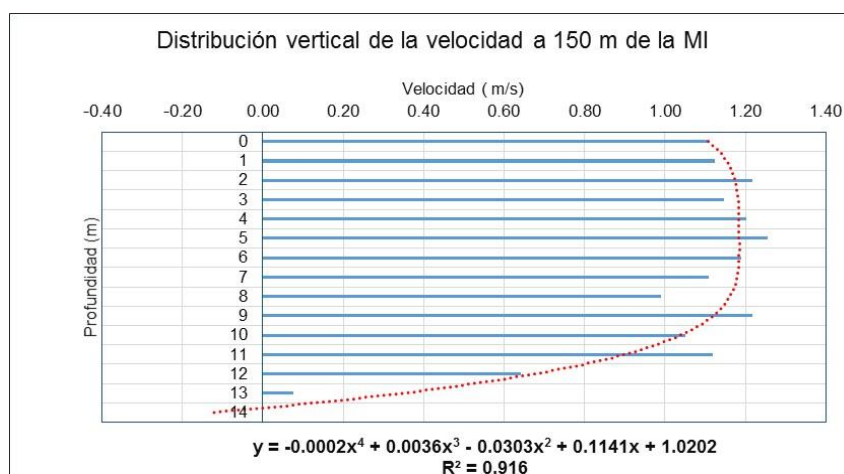


Figura 4-149. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-150**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 190 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores fluctúa entre 0, m/s a 0,40 m/s, alcanzando un valor medio de 0,24 m/s; que se ubica aproximadamente a una profundidad de 3,5 m desde la superficie del agua. La velocidad máxima para esta vertical se presenta a una profundidad media de 2,5 metros desde la superficie, con un valor de 0,35 m/s.

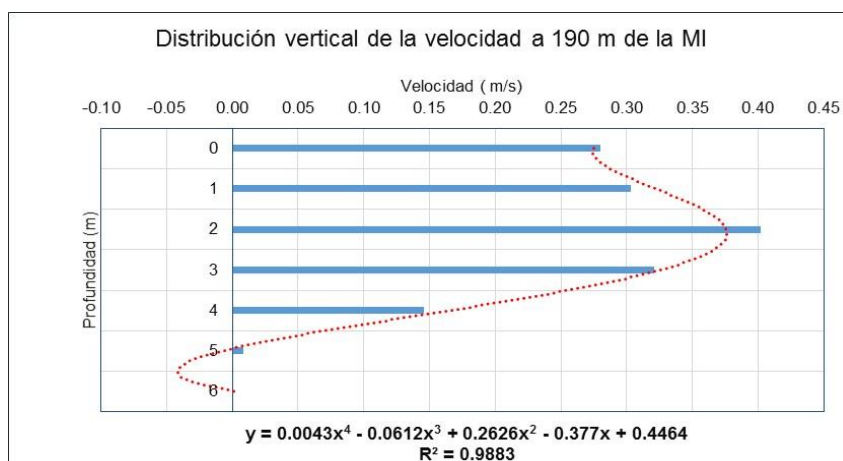


Figura 4-150. Perfil de velocidad vertical punto 190 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

La velocidad media para esta sección se ha determinado sobre la base de los valores registrados en cada una de las verticales y a nivel de profundidad, obteniendo la **Figura 4-151**, donde claramente apreciamos como se distribuye el perfil de velocidades y que ha sido ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, donde los mayores valores se registran a una profundidad media de 12,00 metros (75%), con una velocidad de 1,35 m/s.

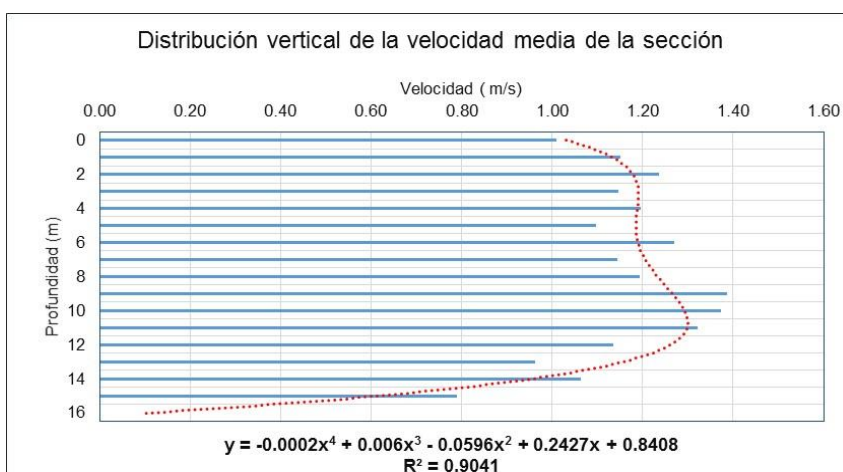


Figura 4-151. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

La distribución de la velocidad horizontal del agua a diferentes niveles de profundidades se muestran en la **Figura 4-152**, donde se ha representado los valores a 0,0 m, 5,0 m y 15,0 metros de profundidad; apreciándose claramente como el comportamiento de la velocidad a nivel superficial y sub superficial se orientada ligeramente hacia la margen izquierda del río, donde se ubica la caja hidráulica de la sección; mientras que la margen derecha sufre un proceso de acortamiento debida a las condiciones de procesos de colmatación por velocidades bajas.

Hay que resaltar que en este mes, los volúmenes de agua que circula por el río son superiores al mes de setiembre, ya que está dentro del periodo de creciente en los ríos amazónicos.



- Durante abril 2008:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 1,50 m/s, alcanzando un valor medio de 0,81 m/s.

La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 14,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 150 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades.

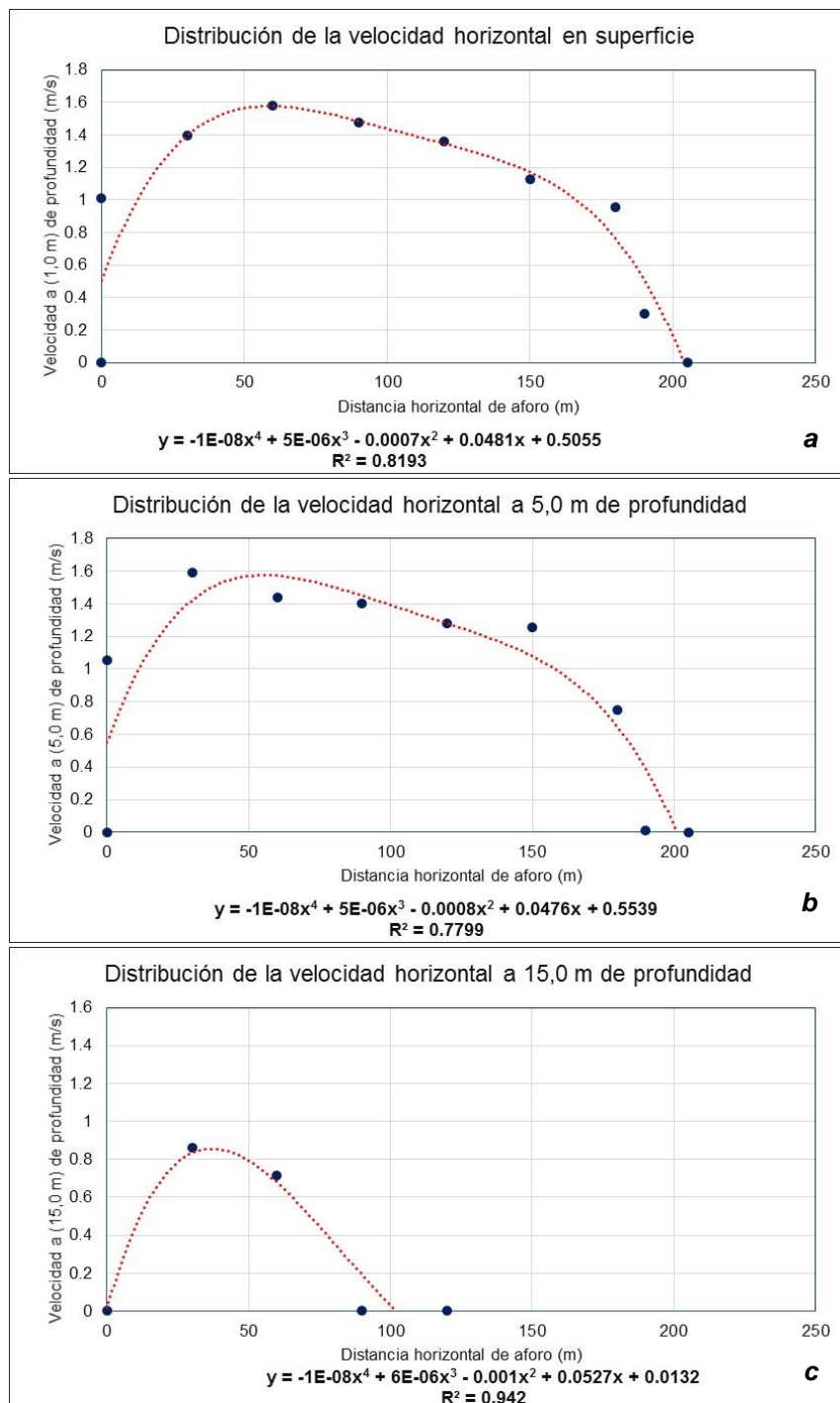


Figura 4-152. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades  
a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 15,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

La **Figura 4-153**, muestra la distribución de la velocidad vertical para el punto correspondiente a una distancia de 60 m desde la margen izquierda, cuyo comportamiento es variable en relación a la profundidad, con velocidades que fluctúa entre 0,0 m/s a 1,41 m/s, alcanzado una media de 1,12 m/s, valor que se ubicaría aproximadamente a una profundidad de 8,5 metros desde la superficie. El ajuste realizado a través de una expresión algebraica de cuarto grado, nos indica que la mayor velocidad se registra a una profundidad de 3,0 metros de la superficie (28%) cuyo valor es de 1,25 m/s.

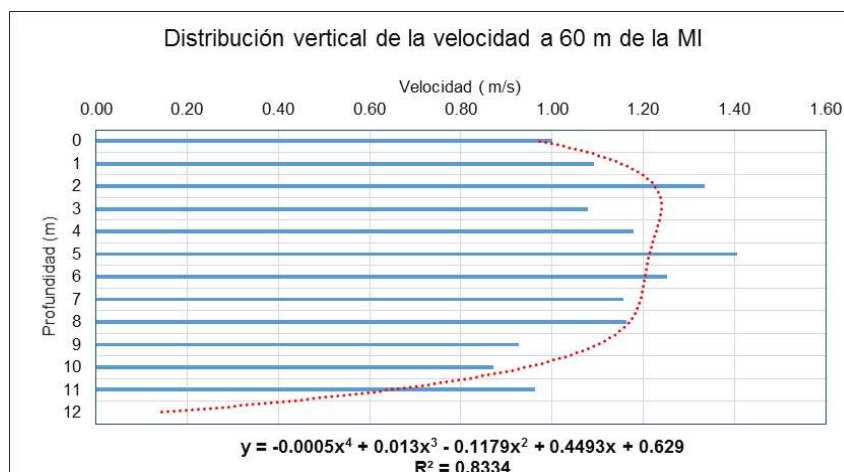


Figura 4-153. Perfil de velocidad vertical punto 60 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-154**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a una distancia de la margen izquierda de 150 metros, cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 1,50 m/s, alcanzado una media de 1,25 m/s, valor que se ubica aproximadamente a una profundidad media de 7,5 metros desde la superficie de agua.

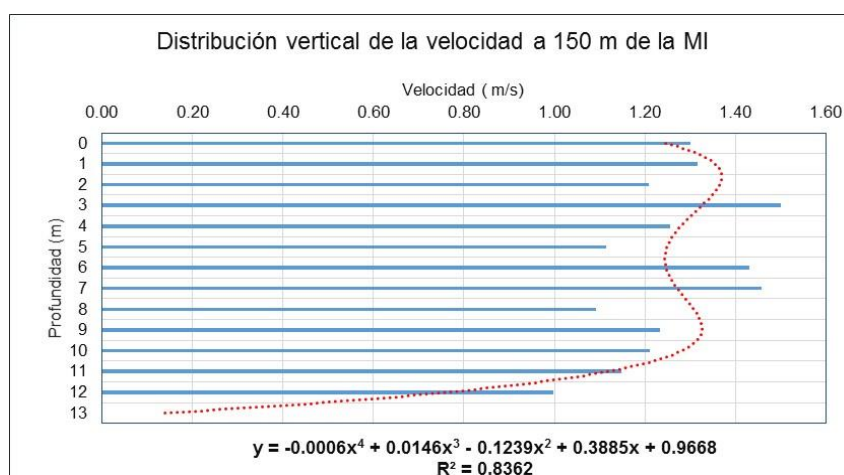


Figura 4-154. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

El perfil de velocidades, muestra claramente un patrón de comportamiento muy variable desde el fondo hacia la superficie, que ha dado origen que se presenten dos zonas con velocidades máximas. A través de una expresión algebraica de cuarto grados, hemos obtenido una ecuación que describa el régimen de velocidades donde los mayores valores se presentan

a unas profundidades de 2,0 metros (16%) y 9,0 metros (70%) desde la superficie con un valor medio de 1,19 m/s.

En la **Figura 4-155**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 240 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores fluctúa entre 0, m/s a 0,81 m/s, alcanzando un valor medio de 0,46 m/s; que se ubica aproximadamente a una profundidad de 5,0 m desde la superficie del agua. La velocidad máxima para esta vertical se presenta a una profundidad media de 3,0 metros desde la superficie, con un valor de 0,65 m/s.

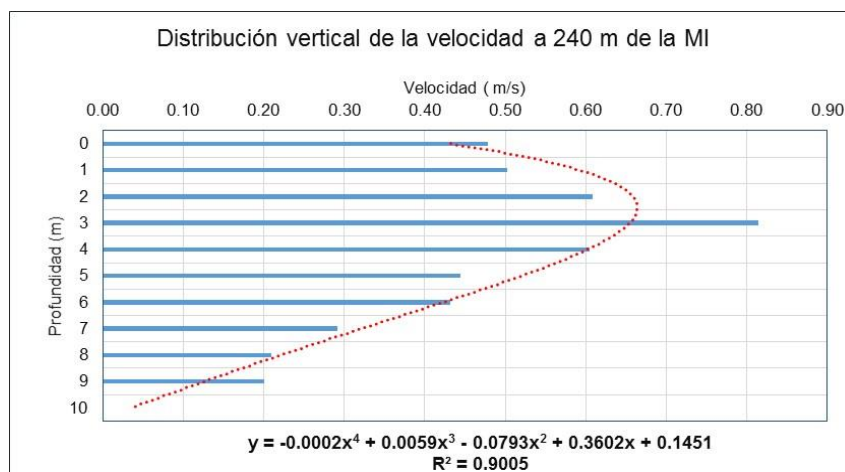


Figura 4-155. Perfil de velocidad vertical punto 240 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

La velocidad media para esta sección se ha determinado sobre la base de los valores registrados en cada una de las verticales y a nivel de profundidad, obteniendo la **Figura 4-156**, donde claramente apreciamos como se distribuye el perfil de velocidades y que ha sido ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, donde los mayores valores se registran a una profundidad media de 9,00 metros (65%), con una velocidad de 0,95 m/s.

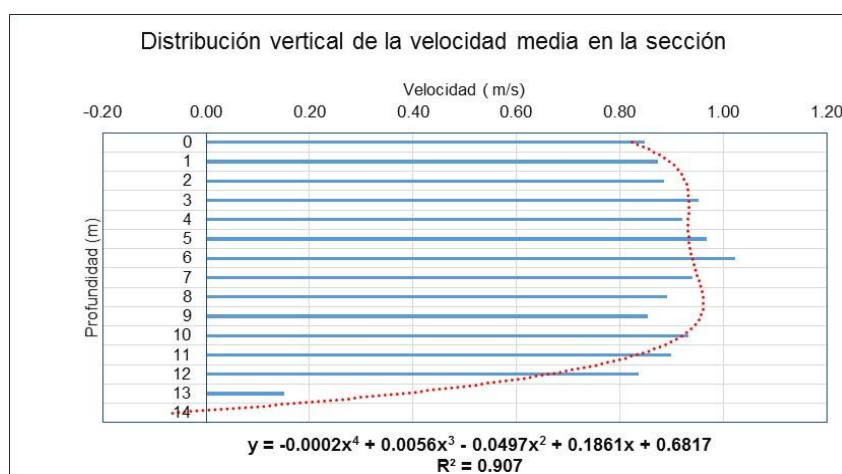


Figura 4-156. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

La distribución de la velocidad horizontal del agua a diferentes niveles de profundidades se muestran en la **Figura 4-157**, donde se ha representado los valores a 0,0 m, 6,0 m y 12,0 metros de profundidad; apreciándose claramente como el comportamiento de la velocidad a nivel superficial y sub superficial se orienta ligeramente hacia la parte central del río, donde se ubica la caja hidráulica de la sección; mientras que la margen izquierda y derecha experimentan procesos de estrangulamiento en la sección.

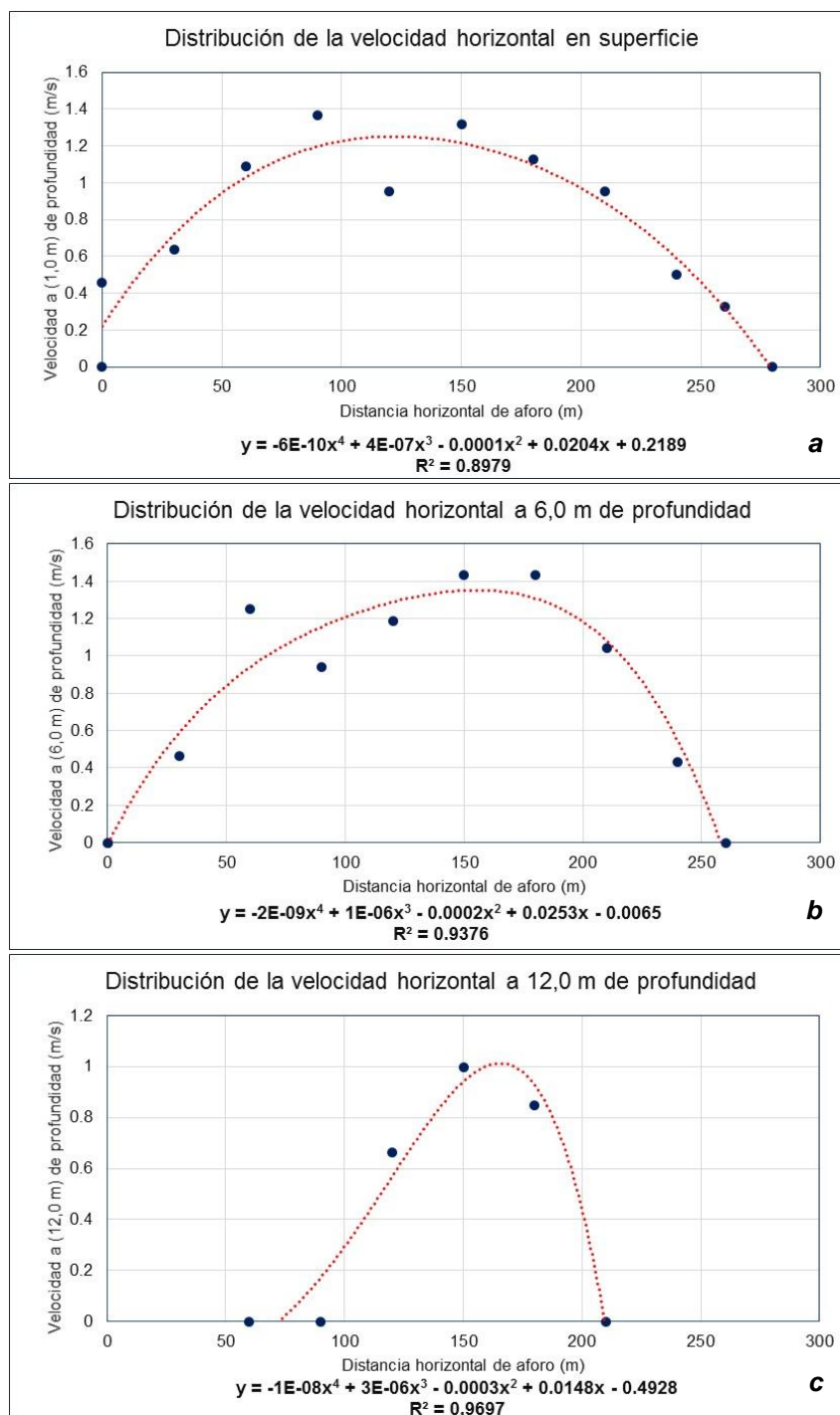


Figura 4-157. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades Superficial, b) 6,0 metros y c) 12,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

- Durante mayo 2006, 2007, 2008:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 1,53 m/s, alcanzando un valor medio de 0,79 m/s. La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 19,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 30 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades.

La **Figura 4-158**, muestra la distribución de la velocidad vertical para el punto correspondiente a una distancia de 30 m desde la margen izquierda, cuyo comportamiento es variable en relación a la profundidad, con velocidades que fluctúa entre 0,0 m/s a 1,45 m/s, alcanzado una media de 0,98 m/s, valor que se ubicaría aproximadamente a una profundidad de 10,0 metros desde la superficie. El ajuste realizado a través de una expresión algebraica de cuarto grado, que nos indica que la mayor velocidad se registra a una profundidad de 6,0 metros de la superficie (32%) cuyo valor es de 1,38 m/s.

En la **Figura 4-159**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a una distancia de la margen izquierda de 150 metros, cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 1,40 m/s, alcanzado una media de 1,07 m/s, valor que se ubica aproximadamente a una profundidad media de 10,0 metros desde la superficie de agua.

El perfil de velocidades, muestra claramente un patrón de comportamiento muy variable desde el fondo hacia la superficie, que ha dado origen en que se presenten dos zonas con velocidades máximas. A través de una expresión algebraica de cuarto grados, hemos obtenido una ecuación que describa el régimen de velocidades donde los mayores valores se presentan en la superficie con un valor medio de 1,40 m/s.

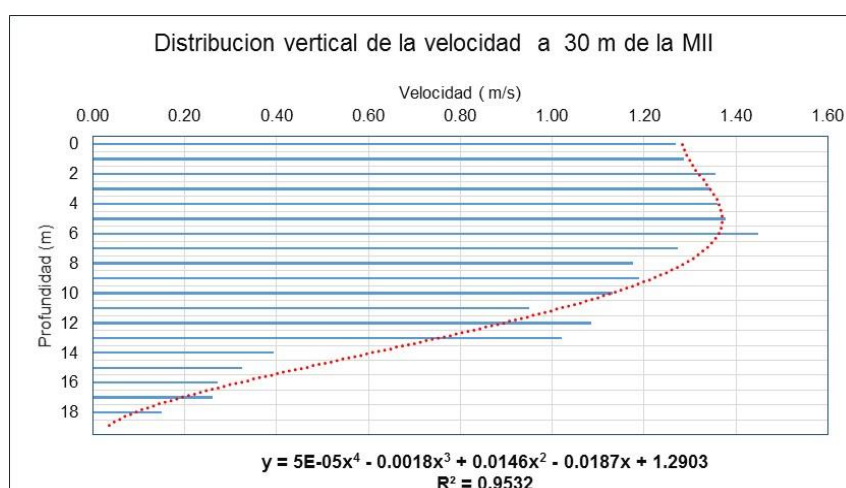


Figura 4-158. Perfil de velocidad vertical punto 30 m de la MI  
Fuente. Elaboración propia

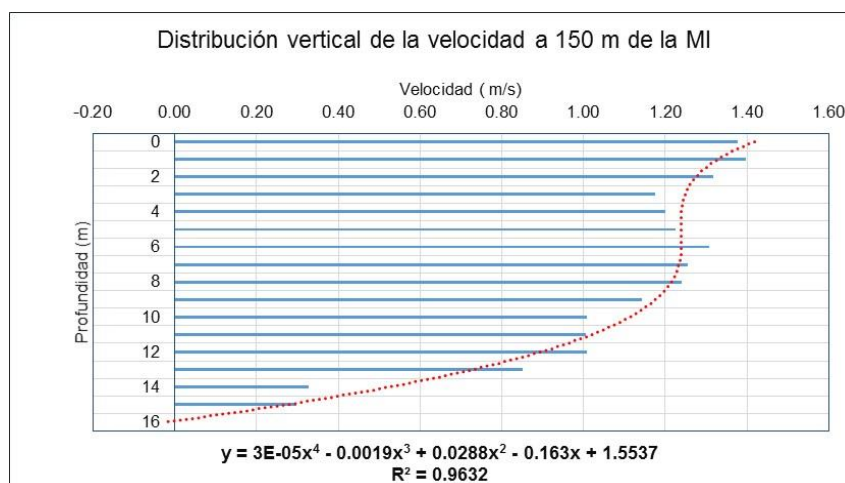


Figura 4-159. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-160**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 240 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores fluctúa entre 0, m/s a 0,66 m/s, alcanzando un valor medio de 0,38 m/s; que se ubica aproximadamente a una profundidad de 5,0 m desde la superficie del agua. La velocidad máxima para esta vertical se presenta a una profundidad media de 2,0 metros desde la superficie, con un valor de 0,65 m/s.

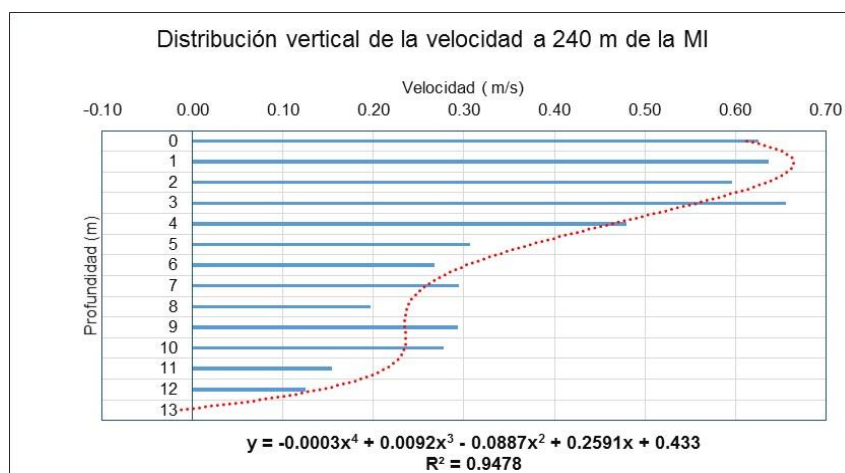


Figura 4-160. Perfil de velocidad vertical punto 240 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

La velocidad media para esta sección se ha determinado sobre la base de los valores registrados en cada una de las verticales y a nivel de profundidad, obteniendo la **Figura 4-161**, donde claramente apreciamos como se distribuye el perfil de velocidades y que ha sido ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, donde los mayores valores están a una profundidad media de 9,00 m (65%), con velocidad de 0,95 m/s.

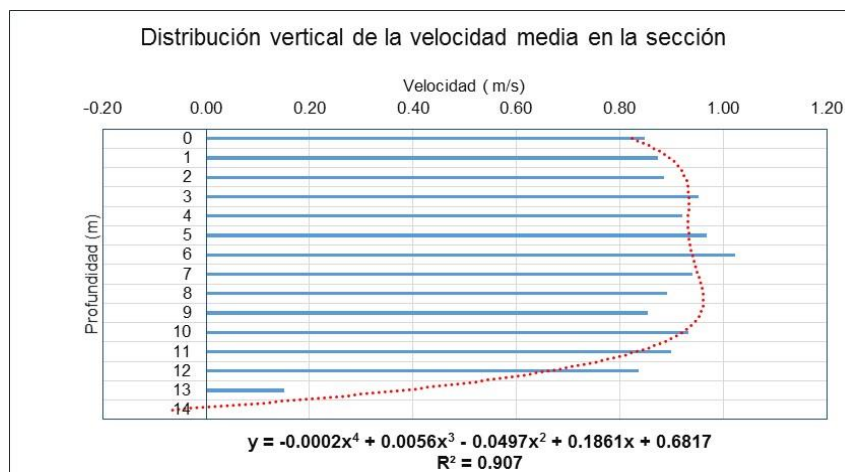


Figura 4-161. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

La distribución de la velocidad horizontal del agua a diferentes niveles de profundidades se muestran en la **Figura 4-162**, donde se ha representado los valores a 0,0 m, 5,0 m y 13,0 metros de profundidad; apreciándose claramente como el comportamiento de la velocidad a nivel superficial y sub superficial se orienta ligeramente hacia la parte central del río, donde se ubica la caja hidráulica de la sección; mientras que la margen izquierda y derecha experimentan procesos de estrangulamiento en la sección.



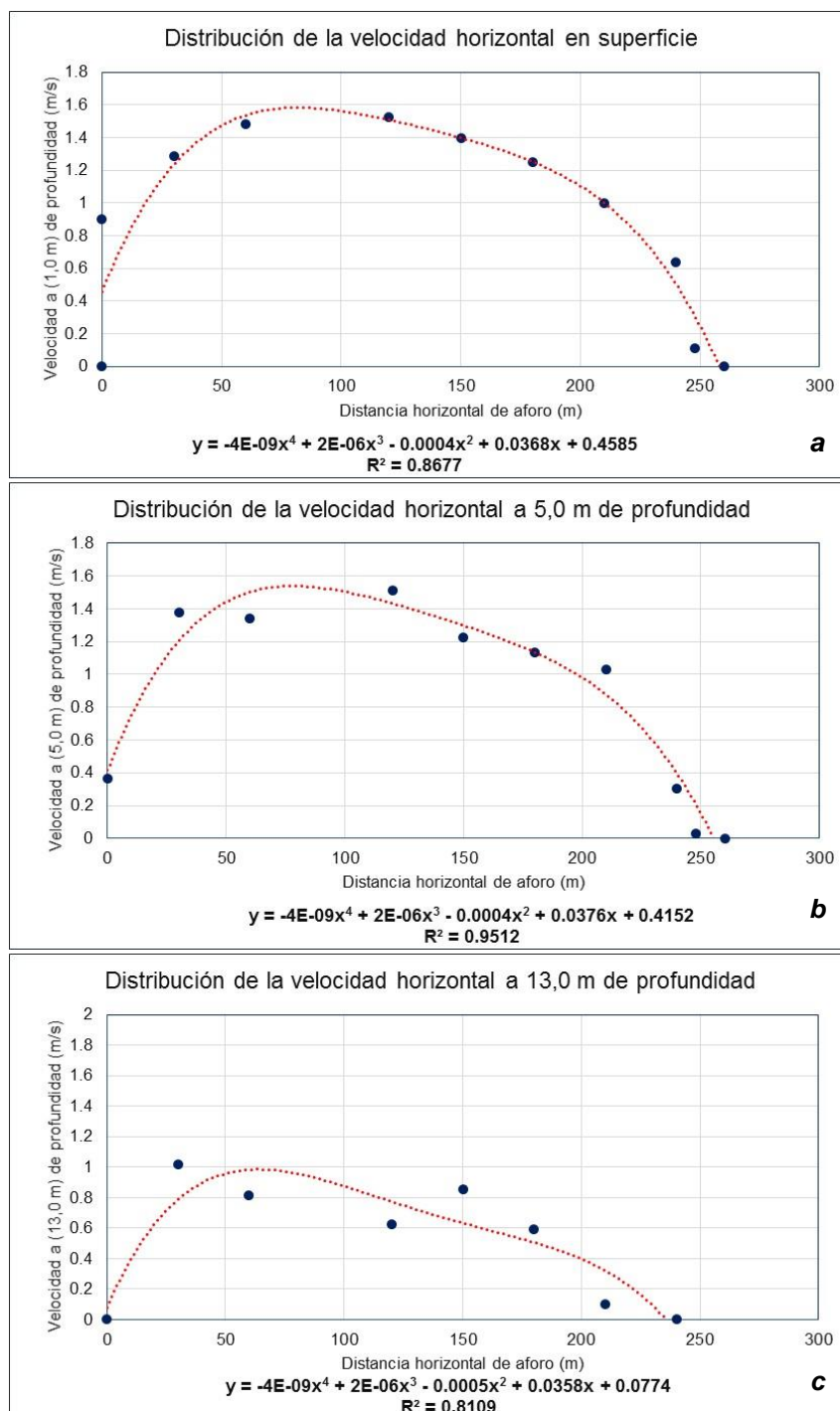


Figura 4-162. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades

a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 13,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

#### 4.4.5 Estación Picota

Iniciaremos analizando los resultados que se generaron para cada uno de los períodos considerados en el proceso, obteniéndose lo siguiente:

Para ello hemos considerado importante definir algunos criterio básicos que nos ayudarán a enmarcar el procesos de análisis y obtener una caracterización del perfil de velocidades en cada una de las secciones transversales de aforo.

- Se realizara el análisis para los períodos comprendido entre vaciante y creciente
- Se determinara para cada mes, el valor promedio de distribución de velocidades
- Para las velocidades representativas, se tomaran los puntos correspondientes a las zonas comprendidas entre:
  - Margen izquierda
  - Margen central
  - Margen derecha
- Se definirán las distribuciones de velocidades horizontales de la sección para tres puntos:
  - Superficial,
  - Media,
  - Fondo

Para esta estación se obtuvieron una total de 04 perfiles de distribución de velocidades, las cuales fueron distribuidas tal como se muestra en la **Tabla 4-15**, obteniéndose para los meses de junio, julio, febrero y mayo un aforo que comprende los años 2010 y 2011.

Tabla 4-15. Secciones hidráulicas con velocidades

Periodos	Junio	Julio	Agosto
1	2011	2011	
2	Febrero	Abril	Mayo
	2010		2010

Fuente: elaboración propia

En la **Figura 4-161**, se muestra la distribución de la velocidad media de la sección de aforo, apreciándose que las mayores velocidades se concentran en la margen derecha del río.

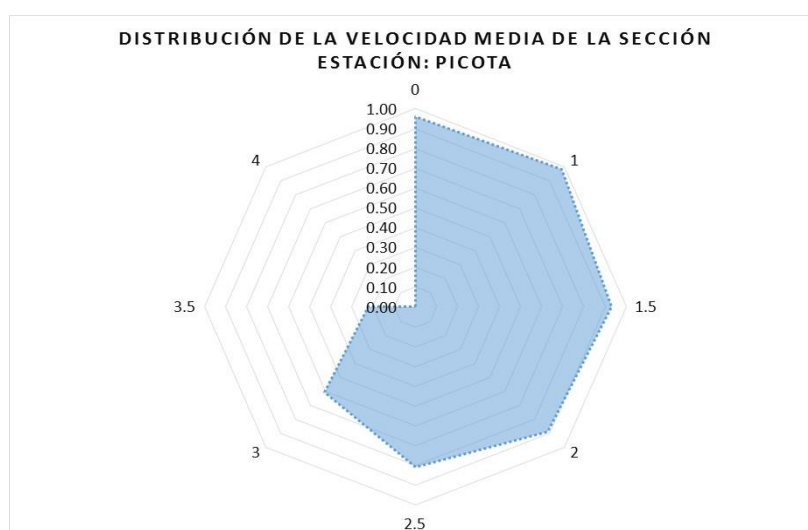


Figura 4-163. Distribución de la velocidad media de la sección del río

Fuente: Elaboración propia

**a) Periodo Junio / Julio**

- Durante junio 2011:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 1,49 m/s, alcanzando un valor medio de 0,80 m/s.

La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 4,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 300 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades a nivel superficial y sub superficial.

En el punto correspondiente a los 90 metros, en la **Figura 4-164**, se muestra la distribución de la velocidad vertical con un comportamiento variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado; la cual permite representar en forma teórica el perfil de la velocidad.

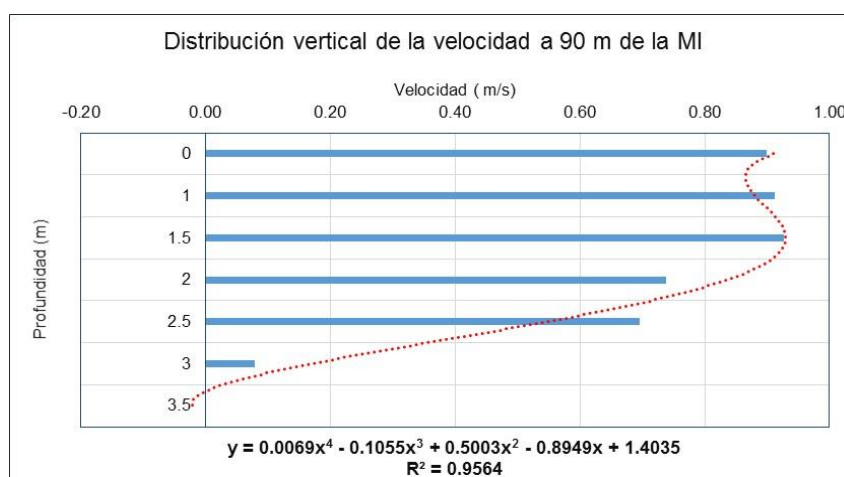


Figura 4-164. Perfil de velocidad vertical punto 90 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

Para nuestro caso apreciamos que el ajuste nos indica que la mayor velocidad se registra aproximadamente a una profundidad de 2,0 metros de la superficie (50%) y equivale a un valor de 0,91 m/s. Además, la velocidad media es de 0,71 m/s que se ubica aproximadamente a 2,5 m desde la superficie.

En la **Figura 4-165**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a una distancia de la margen izquierda de 210 metros, cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 1,15 m/s, alcanzado una media de 0,97 m/s, valor que se ubica aproximadamente a una profundidad media de 2,3 metros desde la superficie de agua.

Según los datos de velocidades, el perfil de distribución muestra un comportamiento variable desde el fondo hacia la superficie, permitiendo generar un ajuste teórico a través de una expresión algebraica de cuarto grados, cuya ecuación nos indica que las mayores velocidades se presentan en la superficie del agua con un valor medio de 1,21 m/s.

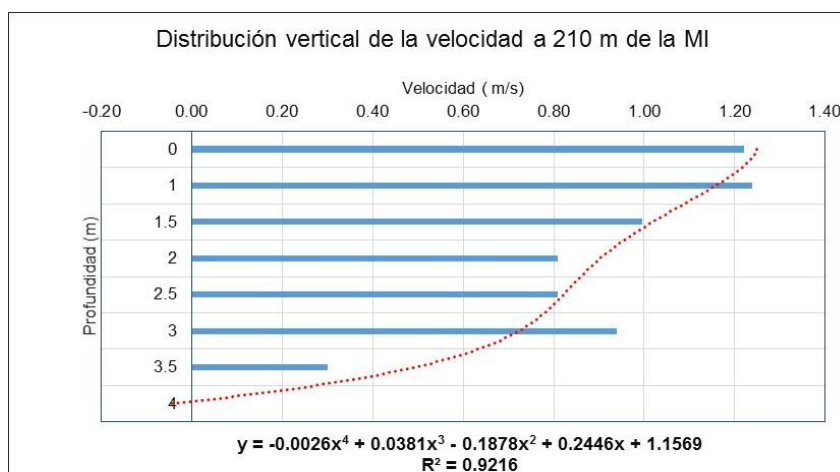


Figura 4-165. Perfil de velocidad vertical punto 210 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-166**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 300 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores fluctúa entre 0, m/s a 1,49 m/s, alcanzando un valor medio de 1,18 m/s; que se ubica a una profundidad de 2,7 m de la superficie. La velocidad máxima se presenta ligeramente en la superficie del agua con un valor medio de 1.49 m/s.

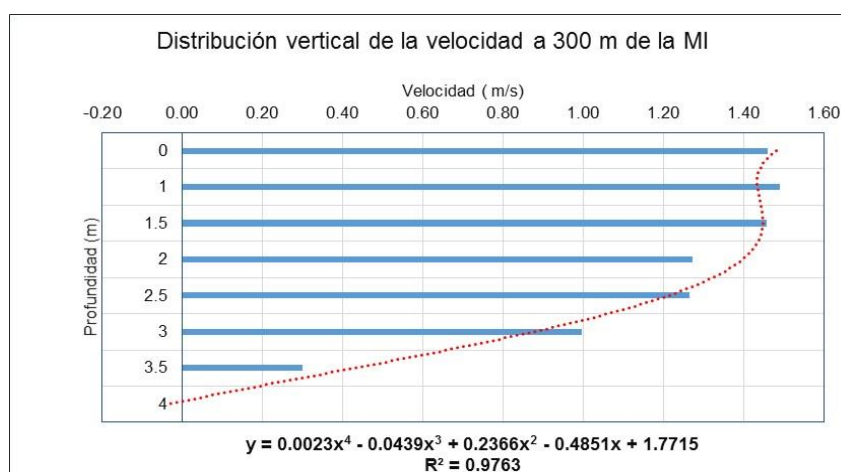


Figura 4-166. Perfil de velocidad vertical punto 300 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

La velocidad media para esta sección se ha determinado sobre la base de los valores registrados en cada una de las verticales y a nivel de profundidad, obteniendo la **Figura 4-167**, donde claramente apreciamos una distribución uniforme del perfil de velocidades; al cual se le ha ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, que nos muestra que las mayores velocidades se presentan a una profundidad media de 2,0 metros (50%) con un valor medio de 0,96 m/s.

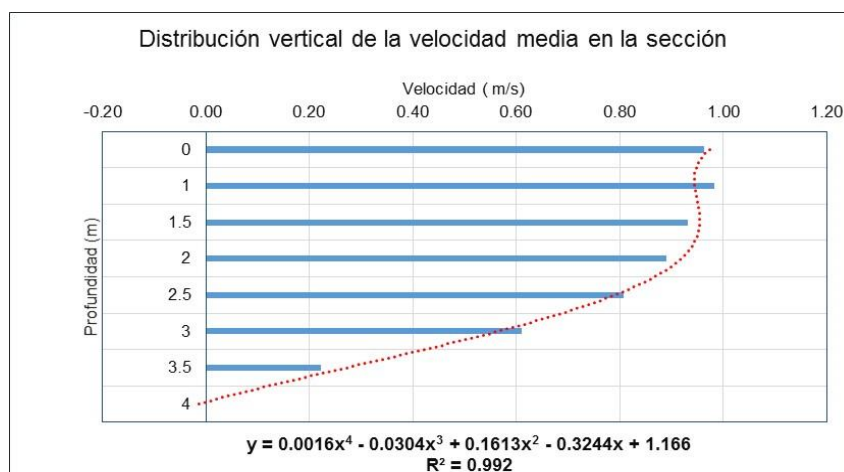


Figura 4-167. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

En relación a la distribución de la velocidad horizontal, hemos determinado que la sección transversal de aforo se presenta un comportamiento variable en relación a la profundidad, lo que origina que las líneas de corriente del flujo se concentren en la margen izquierda del río, siendo ella la caja hidráulica principal, Tal como se aprecia en la **Figura 4-168**.

- Durante julio 2011:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 1,21 m/s, alcanzando un valor medio de 0,65 m/s.

La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 4,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 300 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades a nivel superficial y sub superficial.

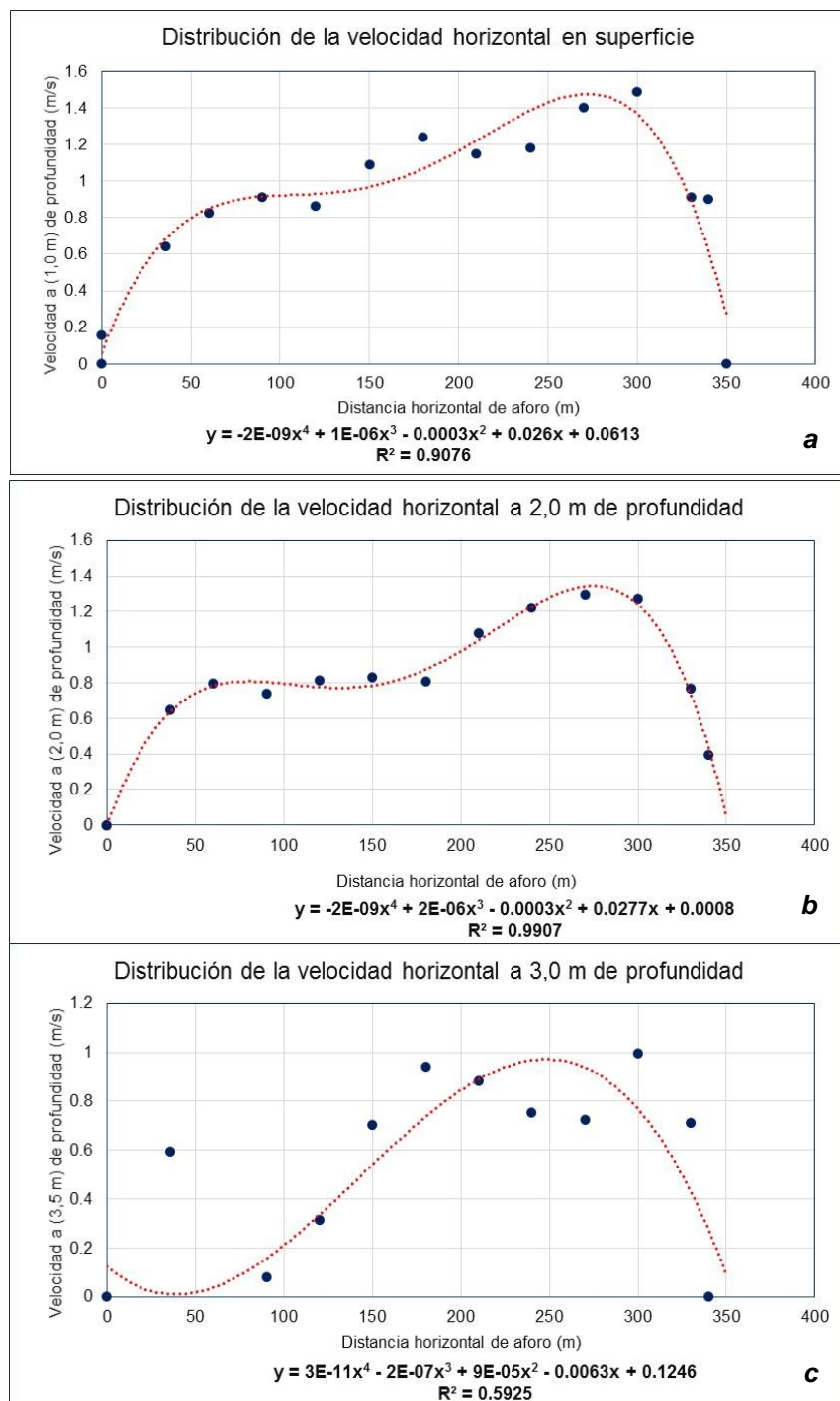


Figura 4-168. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades. a) Superficial, b) 2,0 metros y c) 3,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

En el punto correspondiente a los 90 metros, en la **Figura 4-169**, se muestra la distribución de la velocidad vertical con un comportamiento variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado; la cual permite representar en forma teórica el perfil de la velocidad.

Para nuestro caso apreciamos que el ajuste nos indica que la mayor velocidad se registra aproximadamente a una profundidad de 2,5 metros de la superficie (65%) y equivale a un valor de 0,74 m/s. Además, la velocidad media es de 0,62 m/s que se ubica aproximadamente a 1,8 m desde la superficie.

En la **Figura 4-170**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a una distancia de la margen izquierda de 210 metros, cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 0,95 m/s, alcanzado una media de 0,78 m/s, valor que se ubica aproximadamente a una profundidad media de 2,0 metros desde la superficie de agua.

Según los datos de velocidades, el perfil de distribución muestra un comportamiento variable desde el fondo hacia la superficie, permitiendo generar un ajuste teórico a través de una expresión algebraica de cuarto grados, cuya ecuación nos indica que las mayores velocidades se presentan a una profundidad media de 1,80 m (51%) alcanzando un valor medio de 0,93 m/s.

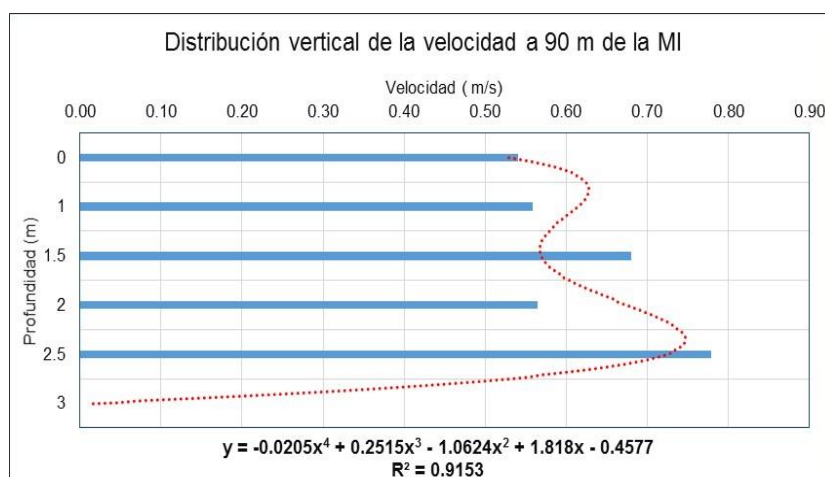


Figura 4-169. Perfil de velocidad vertical punto 90 m de la MI  
Fuente. Elaboración propia

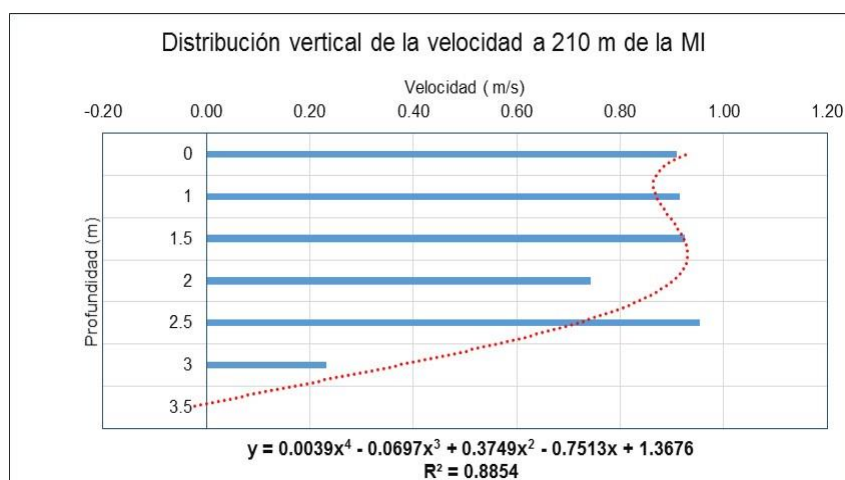


Figura 4-170. Perfil de velocidad vertical punto 210 m de la MI  
Fuente. Elaboración propia



En la **Figura 4-171**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 300 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores fluctúa entre 0, m/s a 1,09 m/s, alcanzando un valor medio de 0,82 m/s; que se ubica a una profundidad de 2,2 m de la superficie. La velocidad máxima se presenta a una profundidad media de 1,0, alcanzando un valor medio de 1.15 m/s.

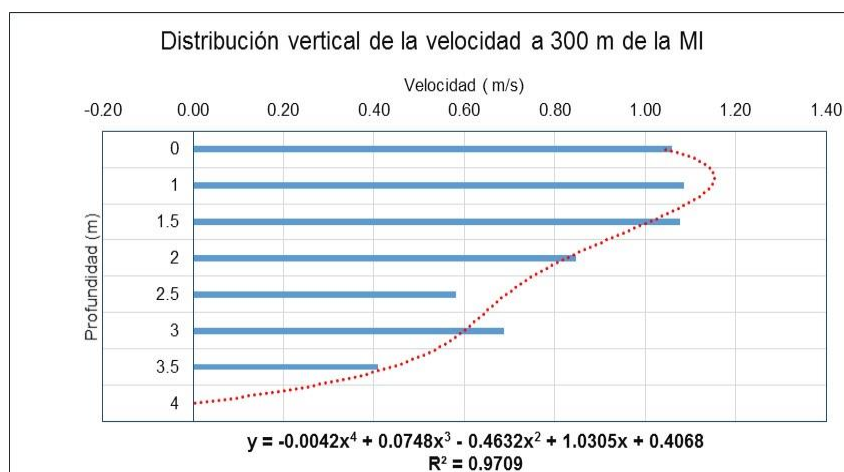


Figura 4-171. Perfil de velocidad vertical punto 300 m de la MI  
Fuente. Elaboración propia

La velocidad media para esta sección se ha determinado sobre la base de los valores registrados en cada una de las verticales y a nivel de profundidad, obteniendo la **Figura 4-172**, donde claramente apreciamos una distribución uniforme del perfil de velocidades; al cual se le ha ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, que nos muestra que las mayores velocidades se presentan a una profundidad media de 1,0 metros (25%) con un valor medio de 0,75 m/s.

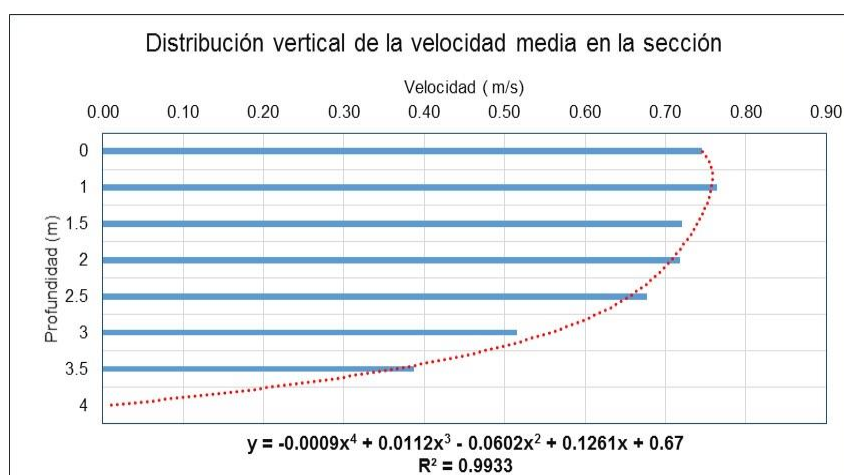


Figura 4-172. Perfil de velocidad vertical media de la sección  
Fuente. Elaboración propia

## b) *Periodo febrero / mayo*

- Durante febrero 2010:

La distribución de la velocidad horizontal del agua a diferentes niveles de profundidades se muestran en la **Figura 4-173**, donde se ha representado los valores a 0,0 m, 2,0 m y 3,0 metros de profundidad.

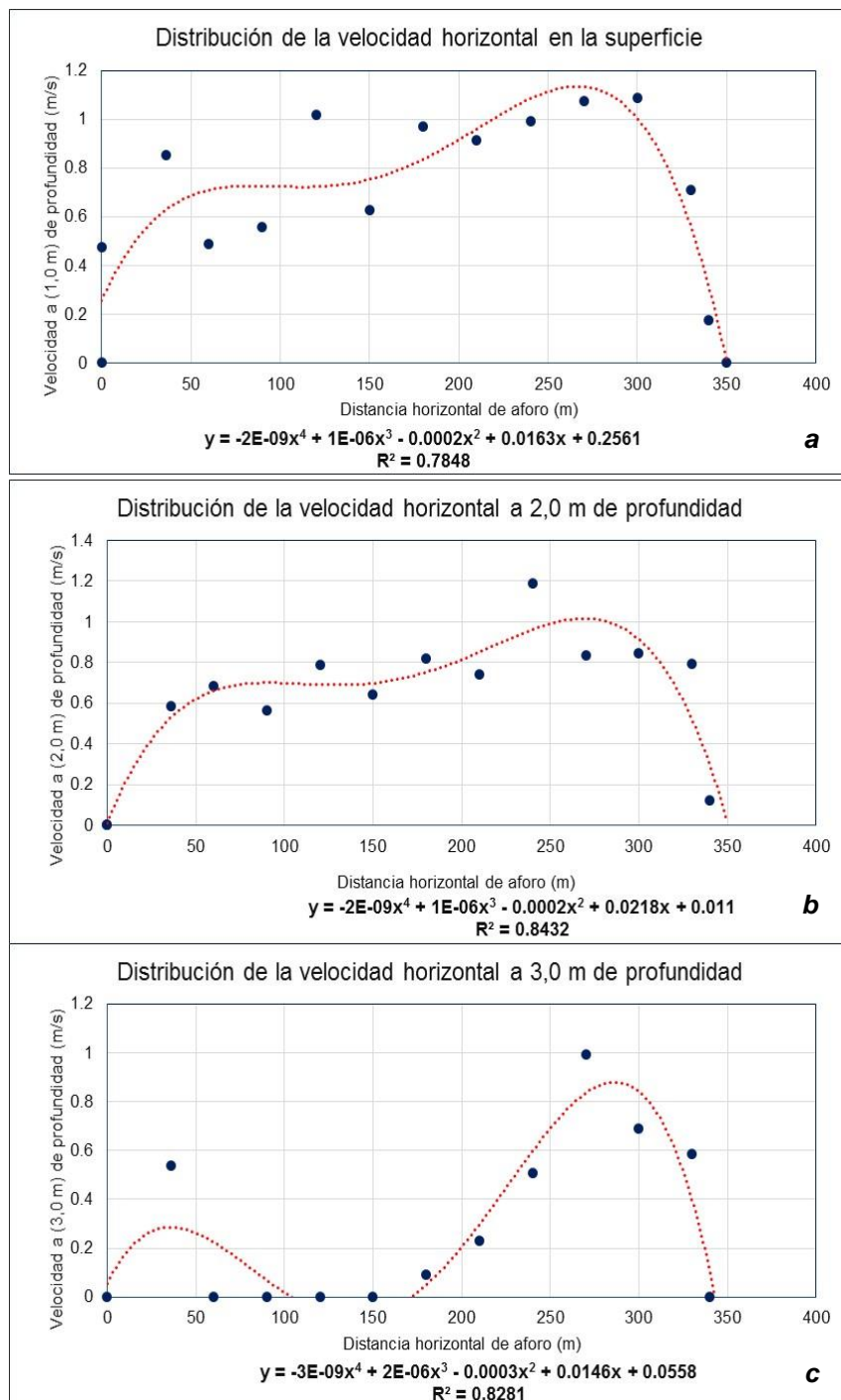


Figura 4-173. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades

a) Superficial, b) 2,0 metros y c) 3,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-174**, se aprecia la distribución de la velocidad vertical para una distancia media de 90 metros de la margen izquierda, cuyo comportamiento es variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado, permitiendo representar teóricamente el perfil de la velocidad desde el fondo del canal hasta la superficie libre de agua.

El ajuste realizado nos indica que la mayor velocidad se registra a una profundidad de 2,5 metros de la superficie (39%) cuyo valor es de 2,45 m/s. Además, la velocidad media es de 2,05 m/s que se ubica a una profundidad media de 4,3 m desde la superficie.

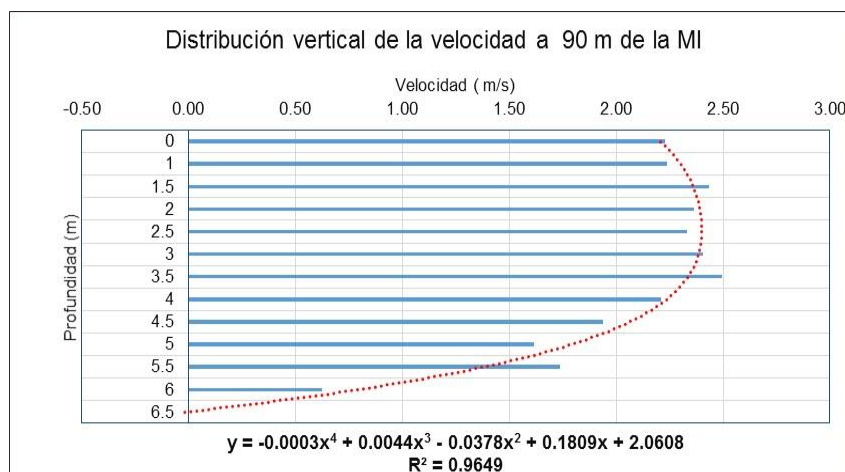


Figura 4-174. Perfil de velocidad vertical punto 90 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-175**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a una distancia de la margen izquierda de 180 metros, cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 2,41 m/s, alcanzado una media de 1,92 m/s, valor que se ubica aproximadamente a una profundidad media de 5 metros desde la superficie de agua.

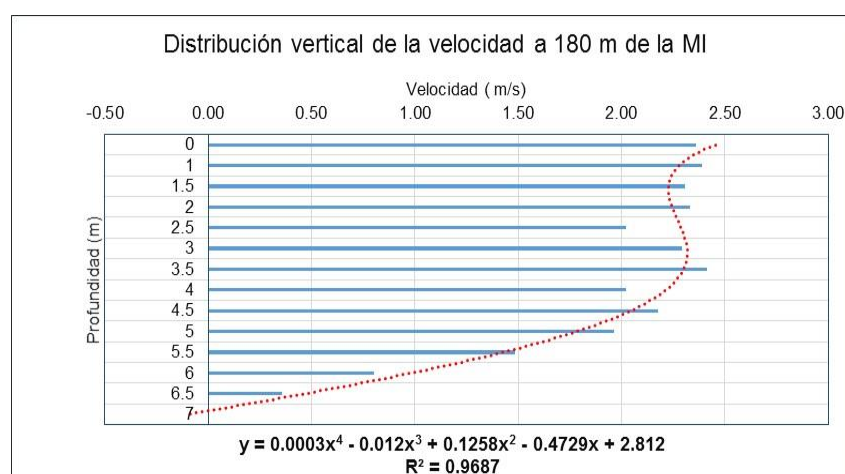


Figura 4-175. Perfil de velocidad vertical punto 180 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

El perfil de velocidades, muestra claramente un patrón de comportamiento variable desde el fondo hacia la superficie. A través de una expresión algebraica de cuarto grados, hemos obtenido una ecuación que describa el régimen de velocidades donde los mayores valores se presentan en la superficie del agua con una velocidad media de 2,48 m/s.

En la **Figura 4-176**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 300 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores fluctúa entre 0, m/s a 1,97 m/s, alcanzando un valor medio de 1,64 m/s; que se ubica aproximadamente a una profundidad de 4,5 m desde la superficie del agua. La velocidad máxima para esta vertical se presenta a una profundidad media de 1,0 metros desde la superficie, con un valor de 1,82 m/s.

La velocidad media para esta sección se ha determinado sobre la base de los valores registrados en cada una de las verticales y a nivel de profundidad, obteniendo la **Figura 4-175**, donde claramente apreciamos como se distribuye el perfil de velocidades y que ha sido ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, donde los mayores valores se registran a una profundidad media de 3,5 metros (50%), con una velocidad de 2,00 m/s.

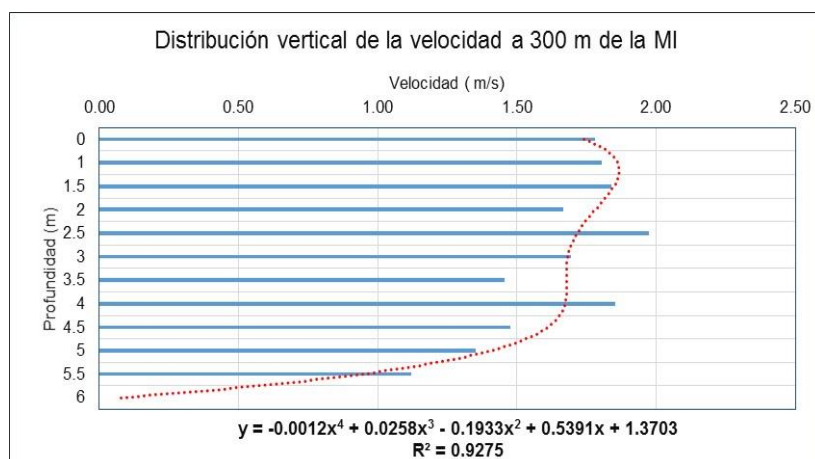


Figura 4-176. Perfil de velocidad vertical punto 300 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

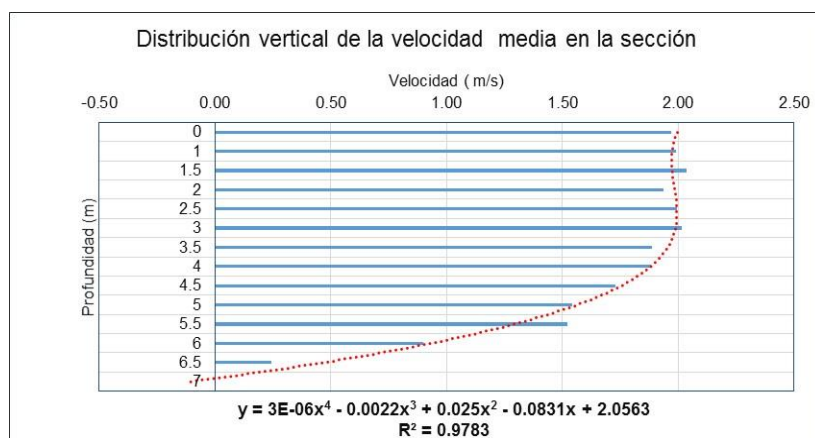


Figura 4-177. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Elaboración propia

Fuente.

La distribución de la velocidad horizontal del agua a diferentes niveles de profundidades se muestran en la **Figura 4-176**, donde se ha representado los valores a 0,0 m, 3,0 m y 5,0 metros de profundidad; apreciándose claramente como el comportamiento de la velocidad a nivel superficial y sub superficial se orientada ligeramente hacia la parte central del río, donde se ubica la caja hidráulica de la sección; mientras que la margen derecha e izquierda se va acortando a media que se va profundizando en la sección hacia el cauce del río.

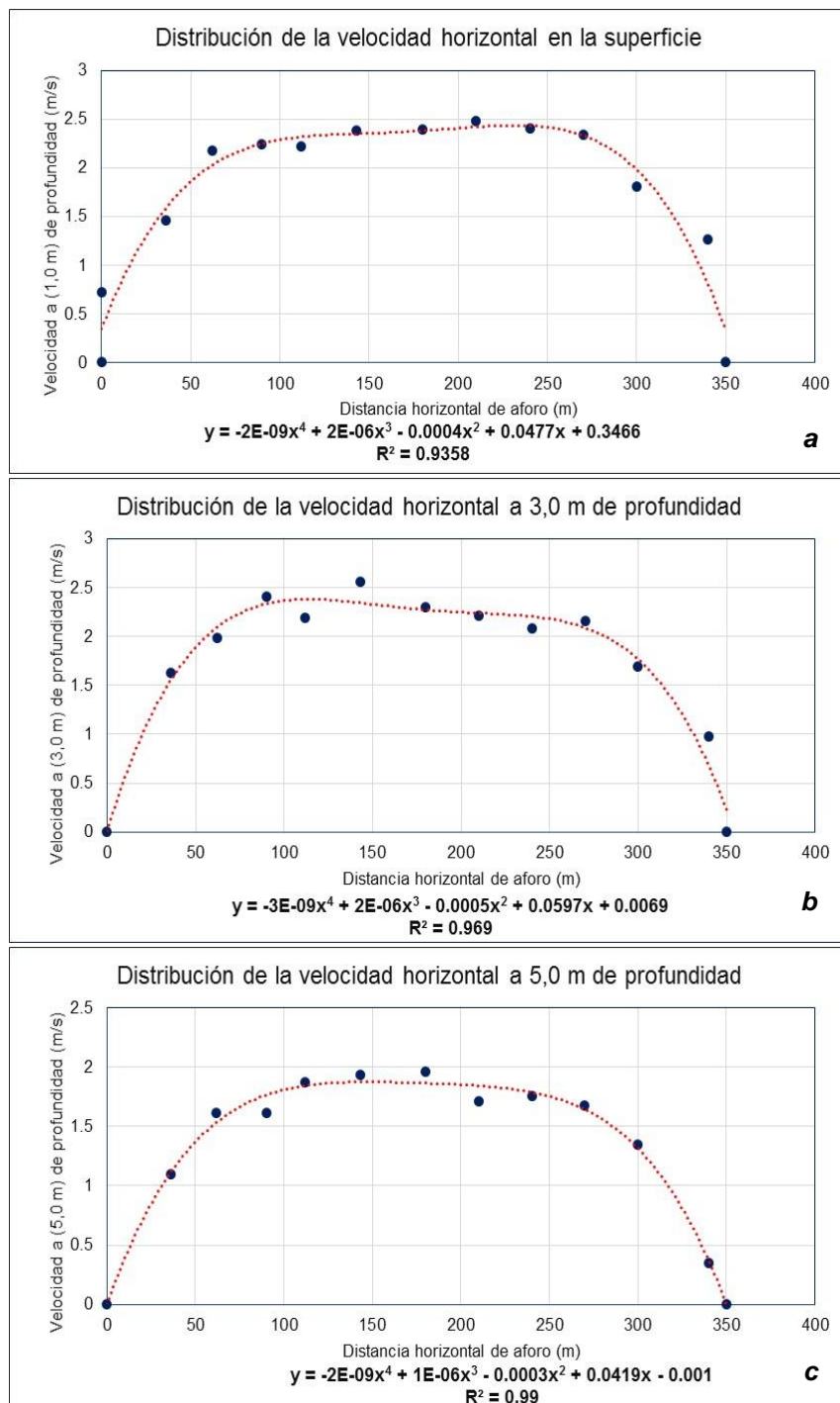


Figura 4-178. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades

a) Superficial, b) 3,0 metros y c) 5,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

- Durante mayo 2003:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 2,82 m/s, alcanzando un valor medio de 1,48 m/s.

La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 5,5 m, justamente dicho valor se encuentra a 150 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades.

En la **Figura 4-179**, se aprecia la distribución de la velocidad vertical para el punto correspondiente a una distancia de 60 m desde la margen izquierda, cuyo comportamiento es variable en relación a la profundidad, con velocidades que fluctúa entre 0,0 m/s a 1,57 m/s, alcanzado una media de 1,25 m/s, valor que se ubicaría aproximadamente a una profundidad de 2,3 metros desde la superficie. El ajuste realizado a través de una expresión algebraica de cuarto grado, nos indica que la mayor velocidad se registra a una profundidad de 1,0 metros de la superficie (20%) cuyo valor es de 1,60 m/s.

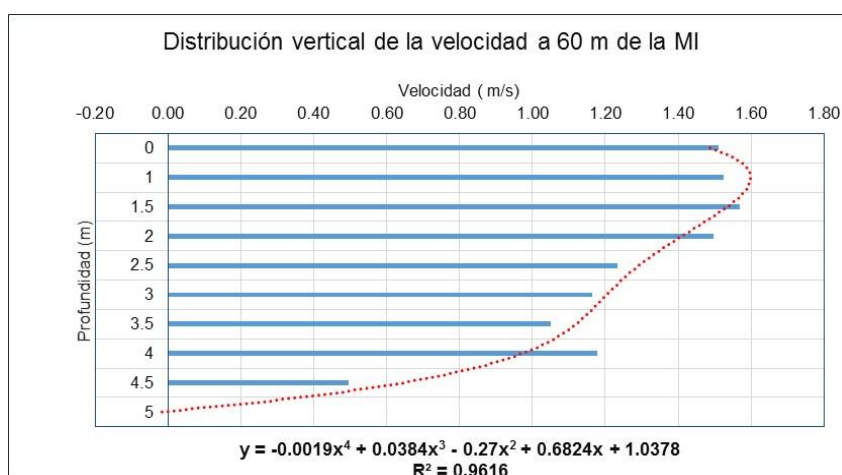


Figura 4-179. Perfil de velocidad vertical punto 60 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-180**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a una distancia de la margen izquierda de 120 metros, cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 2,50 m/s, alcanzado una media de 2,09 m/s, valor que se ubica aproximadamente a una profundidad media de 2,7 metros desde la superficie de agua.

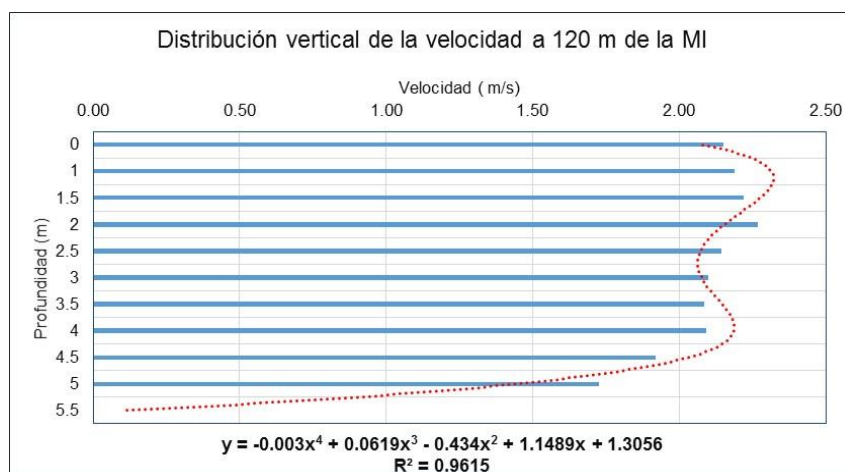


Figura 4-180. Perfil de velocidad vertical punto 120 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

El perfil de velocidades, muestra claramente un patrón de comportamiento muy variable desde el fondo hacia la superficie, que ha dado origen a que se presenten dos zonas con velocidades máximas. A través de una expresión algebraica de cuarto grado, hemos obtenido una ecuación que describa el régimen de velocidades donde los mayores valores se presentan a unas profundidades de 1,5 metros (27%) con un valor medio de 2,35 m/s.

En la **Figura 4-181**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 180 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores fluctúa entre 0, m/s a 2,18 m/s, alcanzando un valor medio de 1,92 m/s; que se ubica aproximadamente a una profundidad de 2,5 m desde la superficie del agua. La velocidad máxima para esta vertical se presenta a una profundidad media de 1,0 metros desde la superficie, con un valor de 2,35 m/s.

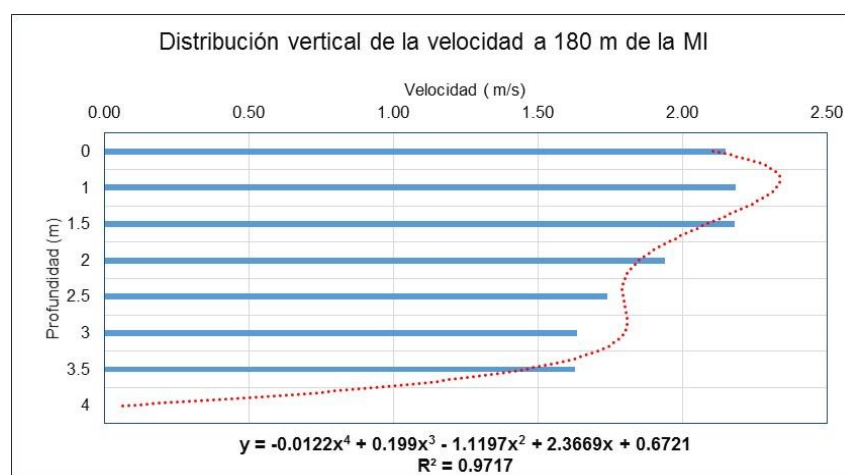


Figura 4-181. Perfil de velocidad vertical punto 180 m de la MI

Fuente. Elaboración propia



La velocidad media para esta sección se ha determinado sobre la base de los valores registrados en cada una de las verticales y a nivel de profundidad, obteniendo la **Figura 4-182**, donde claramente apreciamos como se distribuye el perfil de velocidades y que ha sido ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, donde los mayores valores se registran ligeramente a una profundidad media de 4,00 metros (72%), con una velocidad de 1,70 m/s.

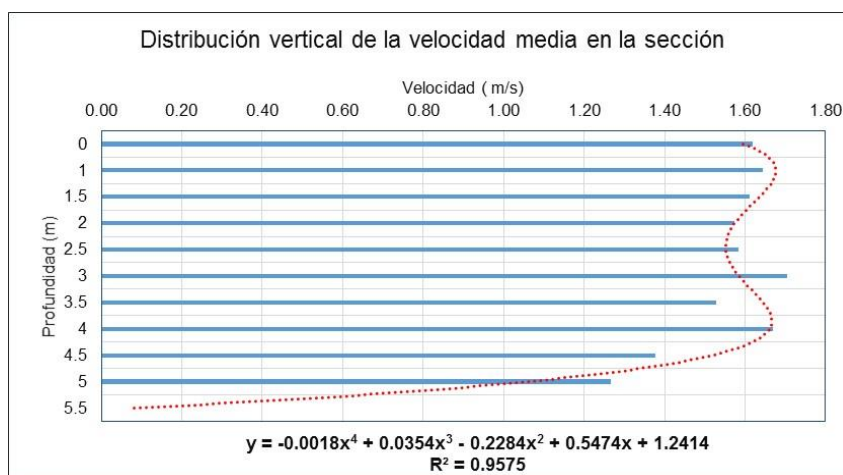


Figura 4-182. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

La distribución de la velocidad horizontal del agua a diferentes niveles de profundidades se muestran en la **Figura 4-183**, donde se ha representado los valores a 0,0 m, 2,0 m y 3,0 metros de profundidad; apreciándose claramente como el comportamiento de la velocidad a nivel superficial y sub superficial se orienta ligeramente hacia la margen izquierda del río donde se concentran las líneas de corrientes a medida que se va profundizando en la sección.

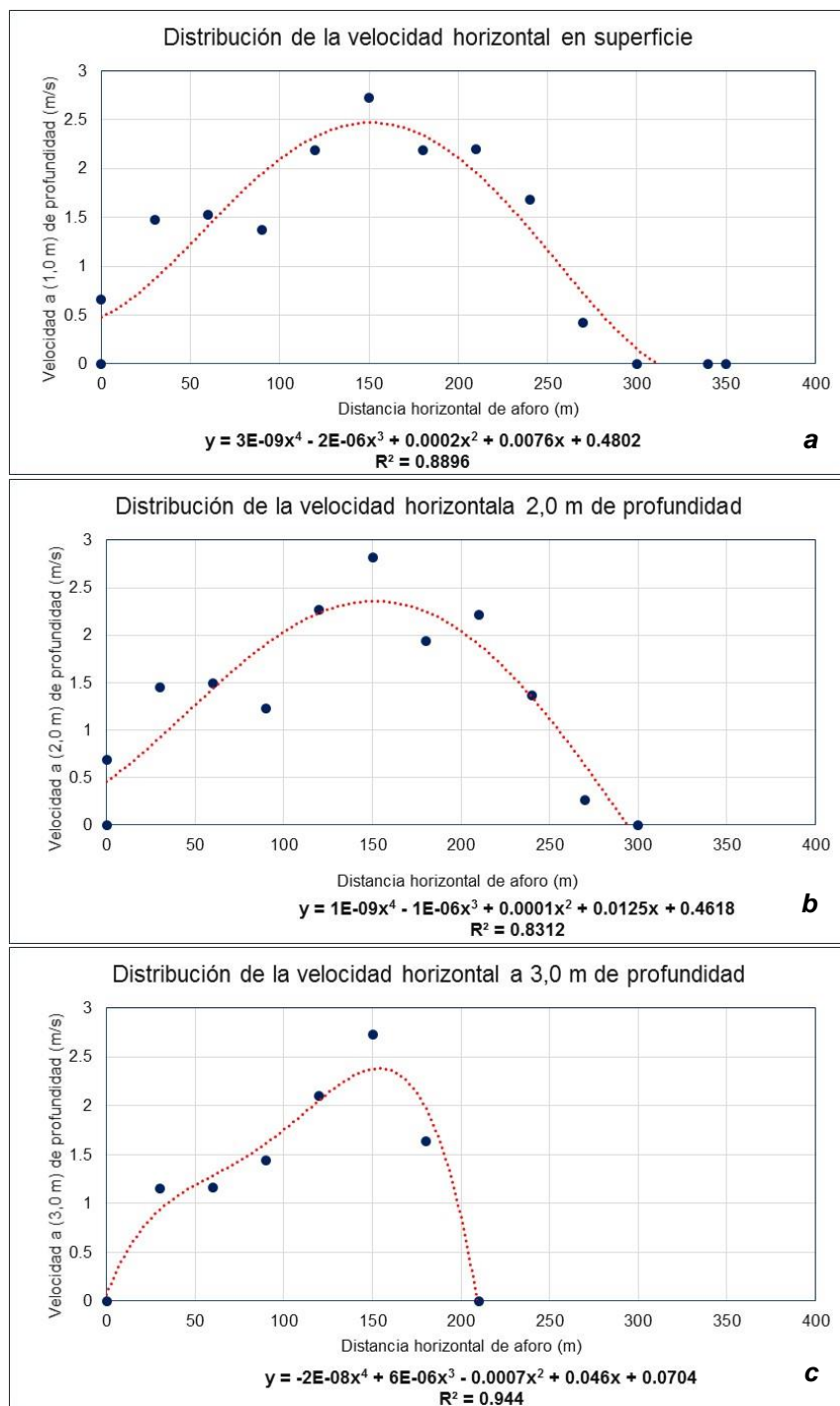


Figura 4-183. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades a) Superficial, b) 2,0 metros y c) 3,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

#### 4.4.6 Estación Santiago

Iniciaremos analizando los resultados que se generaron para cada uno de los períodos considerados en el proceso, obteniéndose lo siguiente:

Para ello hemos considerado importante definir algunos criterio básicos que nos ayudarán a enmarcar el procesos de análisis y obtener una caracterización del perfil de velocidades en cada una de las secciones transversales de aforo.

- Se realizara el análisis para los períodos comprendido entre vaciante y creciente
- Se determinara para cada mes, el valor promedio de distribución de velocidades
- Para las velocidades representativas, se tomaran los puntos correspondientes a las zonas comprendidas entre:
  - o Margen izquierda
  - o Margen central
  - o Margen derecha
- Se definirán las distribuciones de velocidades horizontales de la sección para tres puntos:
  - o Superficial,
  - o Media,
  - o Fondo

Para esta estación se obtuvieron una total de 04 perfiles de distribución de velocidades, las cuales fueron distribuidas tal como se muestra en la **Tabla 4-16**, obteniéndose para los meses de julio, agosto, octubre. Marzo y mayo un aforo para cada uno y que comprende los años 2003, 2005 y 2008.

Tabla 4-16. Secciones hidráulicas con velocidades

<i>Periodos</i>	<i>Julio</i>	<i>Agosto</i>	<i>Octubre</i>
<i>1</i>	<i>2005</i>	<i>2008</i>	<i>2005</i>
<i>2</i>	<i>Febrero</i>	<i>Marzo</i>	<i>Mayo</i>
		<i>2005</i>	<i>2003</i>

Fuente: elaboración propia

En la **Figura 4-184**, se muestra la distribución de la velocidad media de la sección de aforo, apreciándose que las mayores velocidades se concentran en la margen derecha del río.

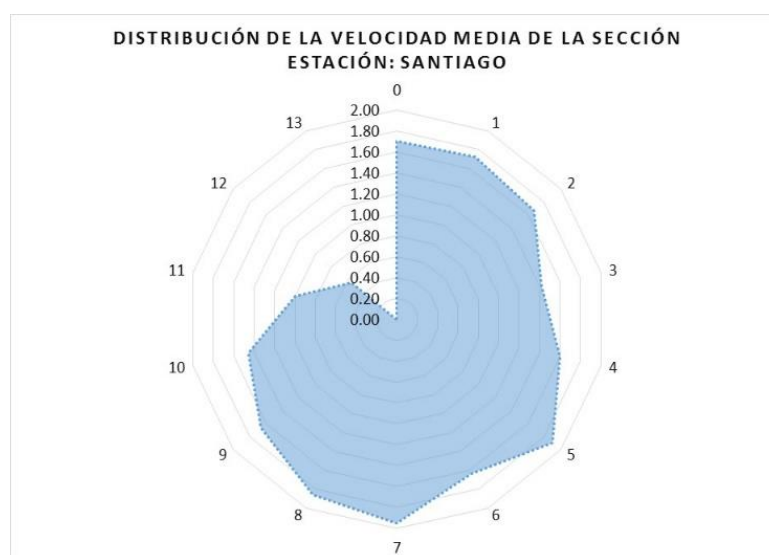


Figura 4-184 Distribución de la velocidad media de la sección del río

Fuente: Elaboración propia

**a) Periodo Julio / Octubre**

- Durante julio 2005:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 3,45 m/s, alcanzando un valor medio de 1,87 m/s.

La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 13,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 30 m desde la margen izquierda y por ende es la zona donde se presentan las mayores velocidades a nivel superficial y sub superficial.

En el punto correspondiente a los 30 metros, en la **Figura 4-185**, se muestra la distribución de la velocidad vertical con un comportamiento variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado; la cual permite representar en forma teórica el perfil de la velocidad.

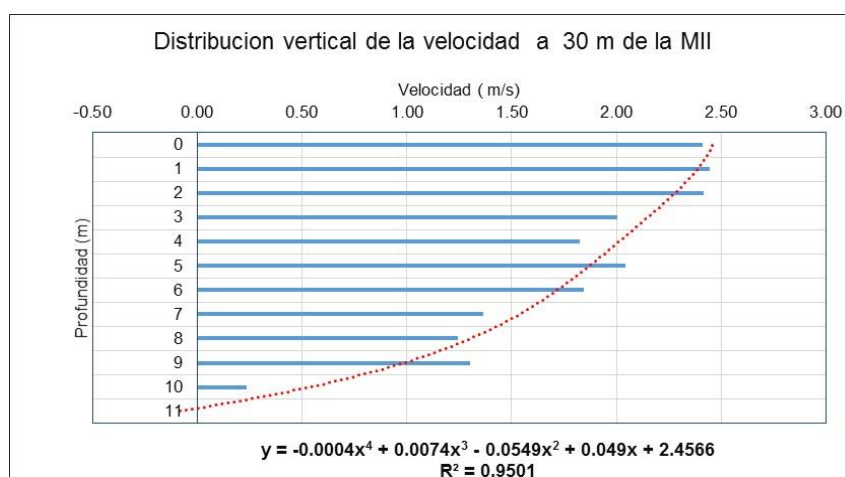


Figura 4-185. Perfil de velocidad vertical punto 30 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

Para nuestro caso apreciamos que el ajuste nos indica que la mayor velocidad se registra aproximadamente en la superficie del agua, con una velocidad media de 2,45 m/s. Además, la velocidad media es de 1,74 m/s que se ubica aproximadamente a 6,5 m desde la superficie.

En la **Figura 4-186**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a una distancia de la margen izquierda de 60 metros, cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 3,45 m/s, alcanzado una media de 2,90 m/s, valor que se ubica aproximadamente a una profundidad media de 5,0 metros desde la superficie de agua.

Según los datos de velocidades, el perfil de distribución muestra un comportamiento variable desde el fondo hacia la superficie, permitiendo generar un ajuste teórico a través de una expresión algebraica de cuarto grados, cuya ecuación nos indica que las mayores velocidades se presentan a una profundidad media de 2,0 m con un valor de 3,25 m/s.

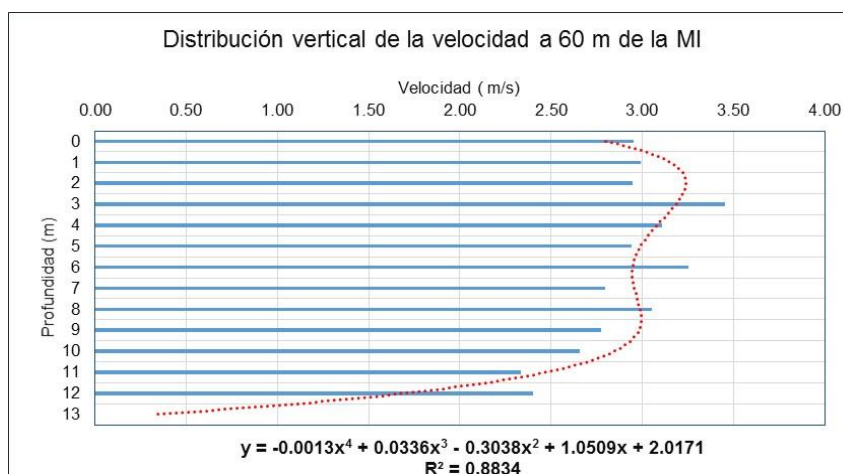


Figura 4-186. Perfil de velocidad vertical punto 60 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-187**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 120 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores fluctúa entre 0, m/s a 2,57 m/s, alcanzando un valor medio de 1,96 m/s; que se ubica a una profundidad de 7,0 m de la superficie. La velocidad máxima se presenta a una profundidad media de 5,0 m con un valor de 2,60 m/s.

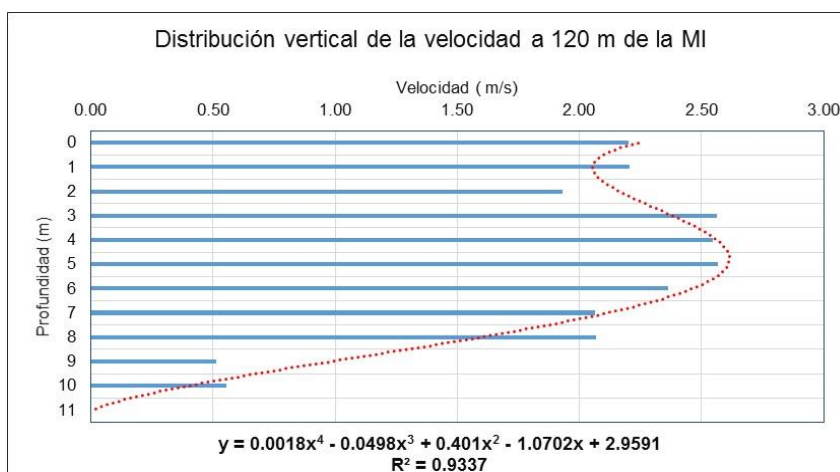


Figura 4-187. Perfil de velocidad vertical punto 120 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

La velocidad media para esta sección se ha determinado sobre la base de los valores registrados en cada una de las verticales y a nivel de profundidad, obteniendo la **Figura 4-188**, donde claramente apreciamos una distribución uniforme del perfil de velocidades; al cual se le ha ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, que nos muestra que las mayores velocidades se presentan a una profundidad media de 5,0 metros (38%) con un valor medio de 2,60 m/s.

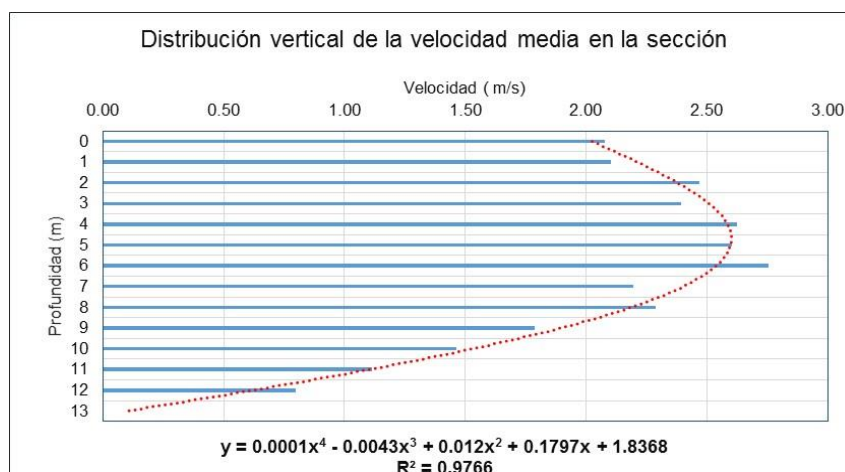


Figura 4-188. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

En relación a la distribución de la velocidad horizontal, hemos determinado que la sección transversal de aforo se presenta un comportamiento variable en relación a la profundidad, lo que origina que las líneas de corriente del flujo se concentren en la parte central de la sección donde se encuentra la caja hidráulica principal, Tal como se aprecia en la **Figura 4-189**.

- Durante agosto 2008:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 2,35 m/s, alcanzando un valor medio de 1,19 m/s.

La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 12,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 120 m desde la margen izquierda. La zona con las mayores velocidades está a 60 metros de la margen izquierda.

En el punto correspondiente a los 30 metros, en la **Figura 4-190**, se muestra la distribución de la velocidad vertical con un comportamiento variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado; la cual permite representar en forma teórica el perfil de la velocidad.

Para nuestro caso apreciamos que el ajuste nos indica que la mayor velocidad se registra aproximadamente a una profundidad de 6,0 metros de la superficie (60%) y equivale a un valor de 1,90 m/s. Además, la velocidad media es de 1,57 m/s que se ubica aproximadamente a 7,0 m desde la superficie.

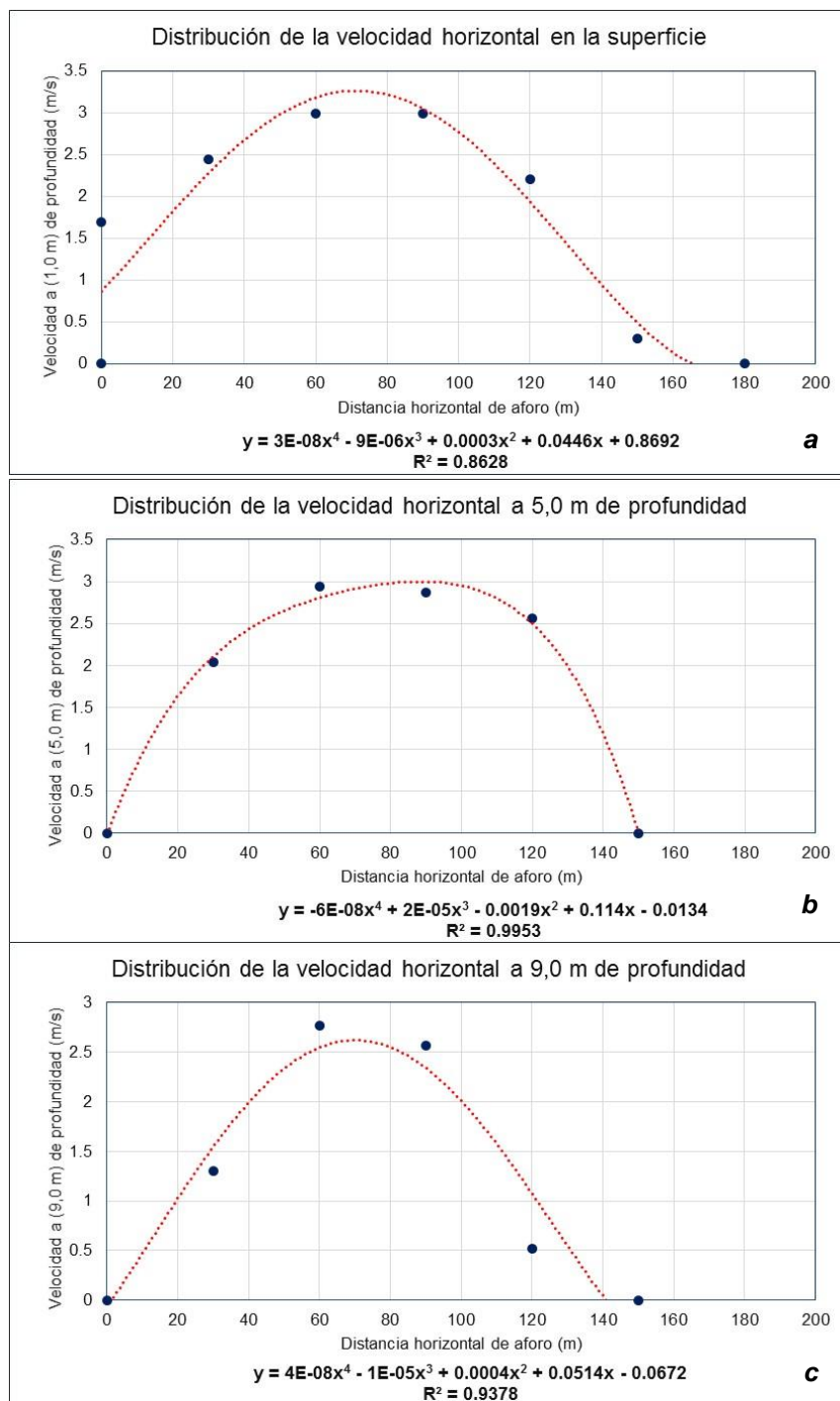


Figura 4-189. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades

a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 9,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia



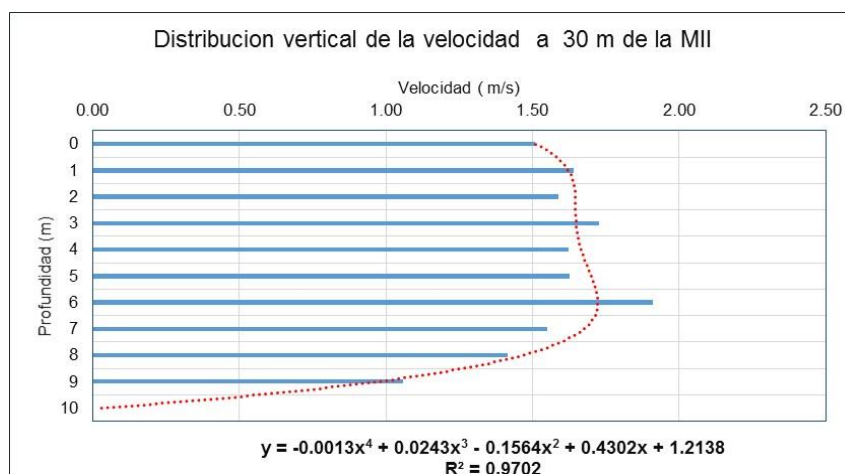


Figura 4-190. Perfil de velocidad vertical punto 30 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-191**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a una distancia de la margen izquierda de 90 metros, cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 1,98 m/s, alcanzado una media de 1,58 m/s, valor que se ubica aproximadamente a una profundidad media de 7,5 metros desde la superficie de agua.

Según los datos de velocidades, el perfil de distribución muestra un comportamiento variable desde el fondo hacia la superficie, permitiendo generar un ajuste teórico a través de una expresión algebraica de cuarto grados, cuya ecuación nos indica que las mayores velocidades se presentan a una profundidad media de 4,50 m (45%) alcanzando un valor medio de 1,80 m/s.

En la **Figura 4-192**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 150 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores fluctúa entre 0, m/s a 1,79 m/s, alcanzando un valor medio de 1,30 m/s; que se ubica a una profundidad de 2,2 m de la superficie. La velocidad máxima se presenta en la superficie del agua alcanzando un valor medio de 1.75 m/s.

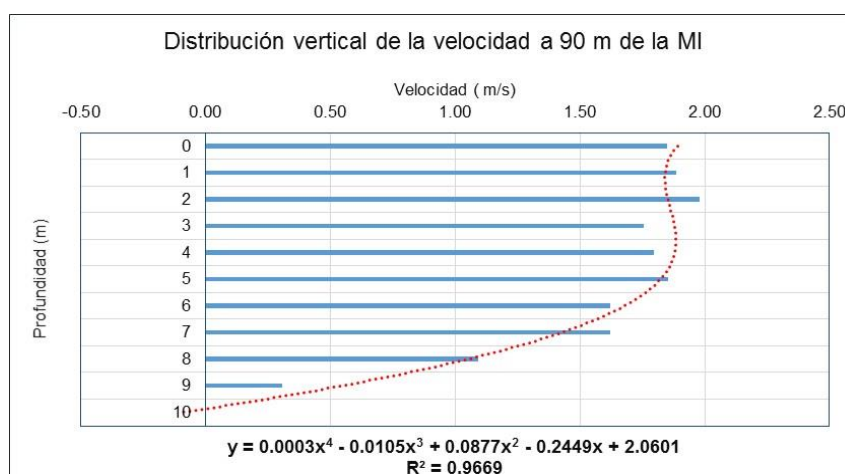


Figura 4-191. Perfil de velocidad vertical punto 90 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

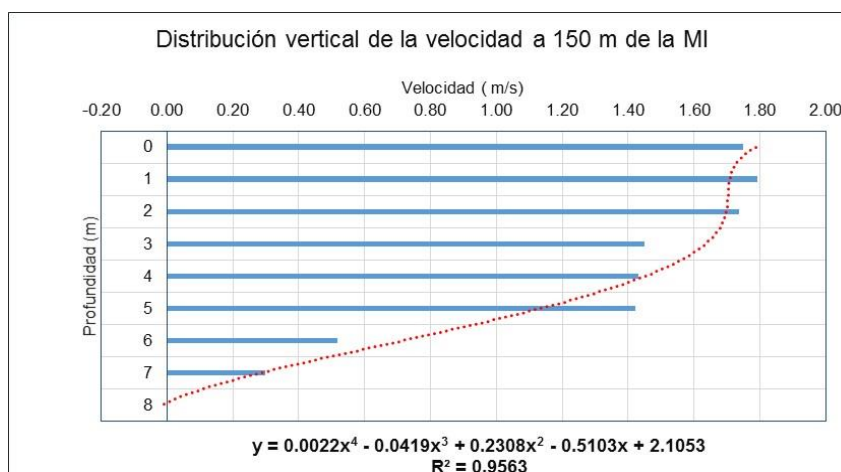


Figura 4-192. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI  
Fuente. Elaboración propia

La velocidad media para esta sección se ha determinado sobre la base de los valores registrados en cada una de las verticales y a nivel de profundidad, obteniendo la **Figura 4-193**, donde claramente apreciamos una distribución uniforme del perfil de velocidades; al cual se le ha ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, que nos muestra que las mayores velocidades se presentan a una profundidad media de 5,0 metros (42%) con un valor medio de 1,75 m/s.

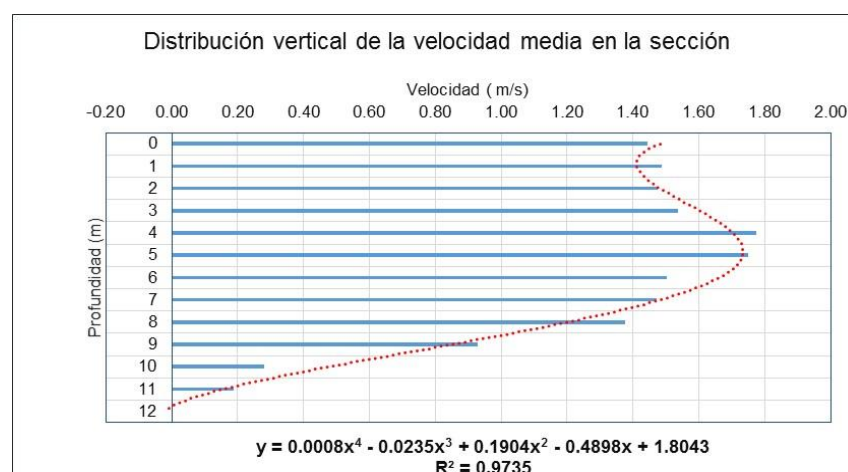


Figura 4-193. Perfil de velocidad vertical media de la sección  
Fuente. Elaboración propia

## b) **Periodo marzo / mayo**

En relación a la distribución de la velocidad horizontal, hemos seleccionado los puntos ubicados a nivel superficial, 4,0 m y 8,0 m, con los cual podemos apreciar la variabilidad de la caja hidráulica la cual se va centrando a raíz que tanto la margen izquierda y derecha va registrando procesos de estrangulación, tal como se aprecia en la **Figura 4-194**.

- Durante marzo 2005:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 1,96 m/s, alcanzando un valor medio de 0,83 m/s.

La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 12,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 210 m; mientras que la mayor velocidad en la vertical se registra en 150 metros de la margen izquierda.

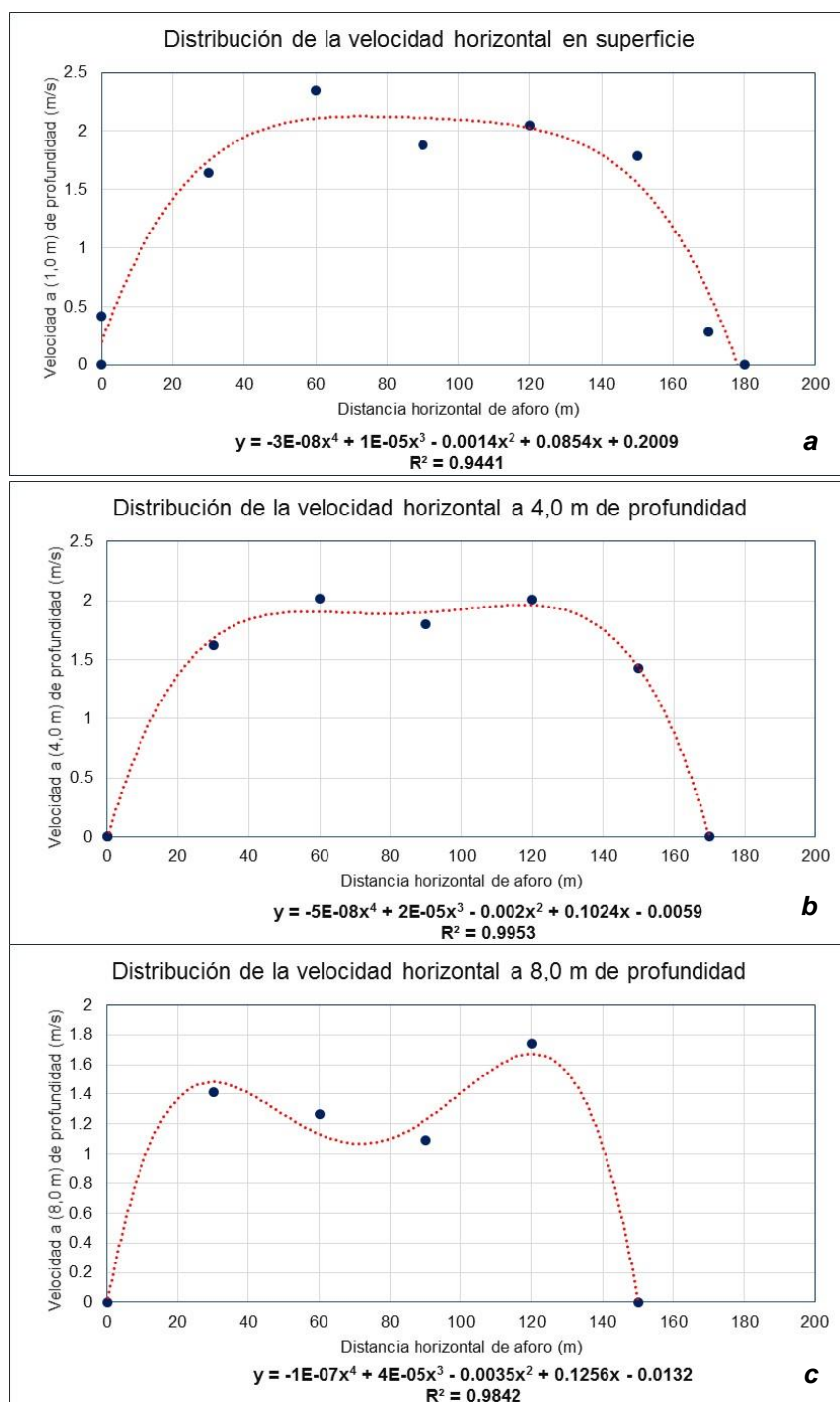


Figura 4-194. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades

a) Superficial, b) 4,0 metros y c) 8,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-195**, se aprecia la distribución de la velocidad vertical para una distancia media de 60 metros de la margen izquierda, cuyo comportamiento es variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado,

permitiendo representar teóricamente el perfil de la velocidad desde el fondo del canal hasta la superficie libre de agua.

El ajuste realizado nos indica que la mayor velocidad se registra a una profundidad de 3,0 metros de la superficie (43%) cuyo valor es de 0,78 m/s. Además, la velocidad media es de 0,59 m/s que se ubica a una profundidad media de 4,5 m desde la superficie.

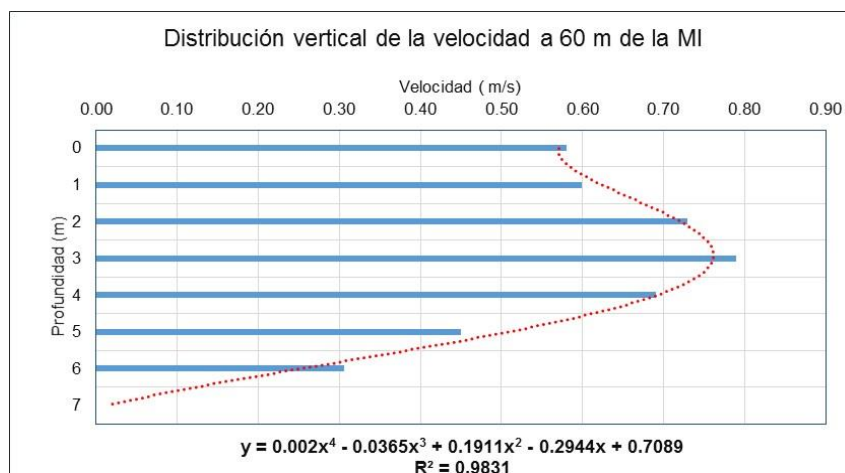


Figura 4-195. Perfil de velocidad vertical punto 60 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-196**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a una distancia de la margen izquierda de 150 metros, cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 1,96 m/s, alcanzado una media de 1,56 m/s, valor que se ubica aproximadamente a una profundidad media de 6,5 metros desde la superficie de agua.

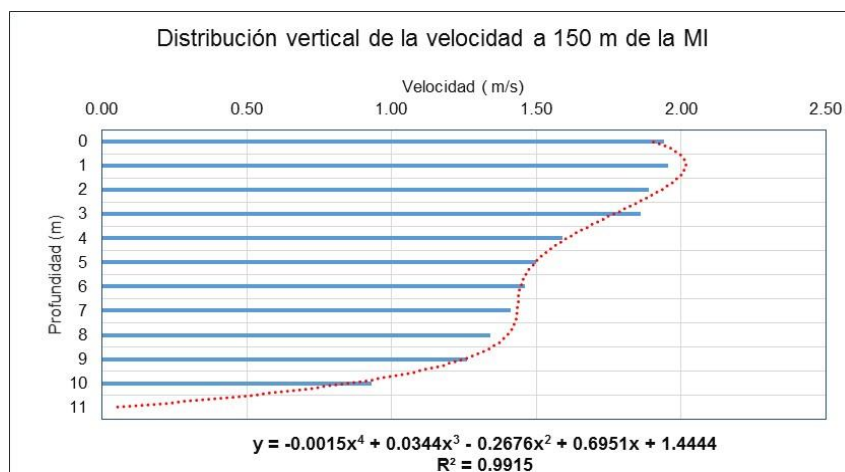


Figura 4-196. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

El perfil de velocidades, muestra claramente un patrón de comportamiento variable desde el fondo hacia la superficie. A través de una expresión algebraica de cuarto grados, hemos obtenido una ecuación que describa el régimen de velocidades donde los mayores valores se presentan a una profundidad media de 1,0 m, con una velocidad media de 2,00 m/s

En la **Figura 4-197**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 240 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores fluctúa entre 0,0 m/s a 1,00 m/s, alcanzando un valor medio de 0,72 m/s; que se ubica aproximadamente a una profundidad de 7,5 m desde la superficie del agua. La velocidad máxima para esta vertical se presenta en la superficie del agua con un valor medio de 0,98 m/s.

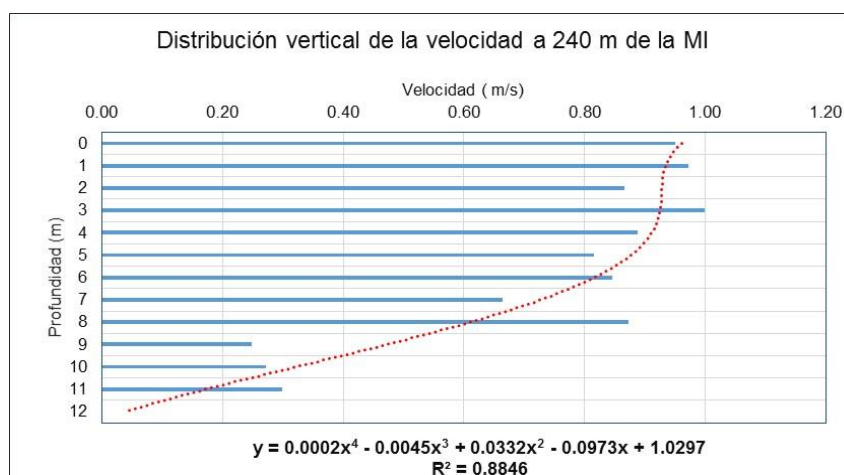


Figura 4-197. Perfil de velocidad vertical punto 240 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

La velocidad media para esta sección se ha determinado sobre la base de los valores registrados en cada una de las verticales y a nivel de profundidad, obteniendo la **Figura 4-198**, donde claramente apreciamos como se distribuye el perfil de velocidades y que ha sido ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, donde los mayores valores se registran a una profundidad media de 1,0 metros (8%), con una velocidad de 0,98 m/s.

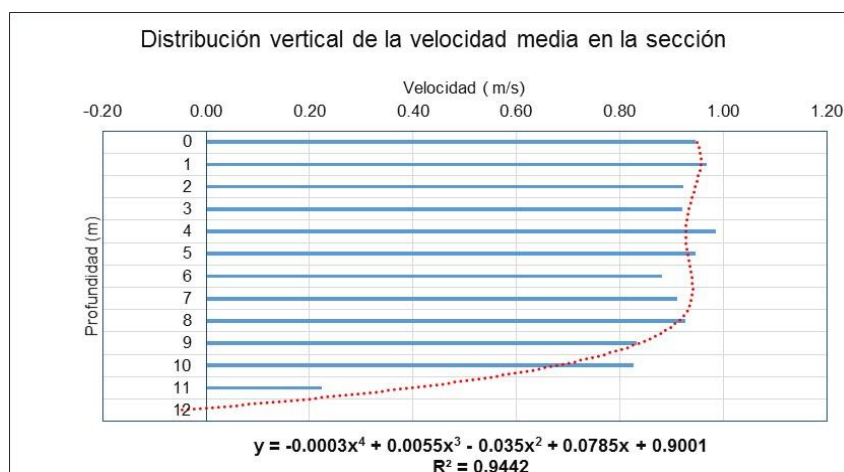


Figura 4-198. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

La distribución de la velocidad horizontal del agua a diferentes niveles de profundidades se muestran en la **Figura 4-199**, donde se ha representado los valores a 0,0 m, 4,0 m y 8,0 metros

de profundidad; apreciándose claramente como el comportamiento de la velocidad a nivel superficial y sub superficial se orientada ligeramente hacia la parte central del río, donde se ubica la caja hidráulica de la sección; mientras que la margen derecha e izquierda se va acortando a medida que se va profundizando hacia el cauce del río.

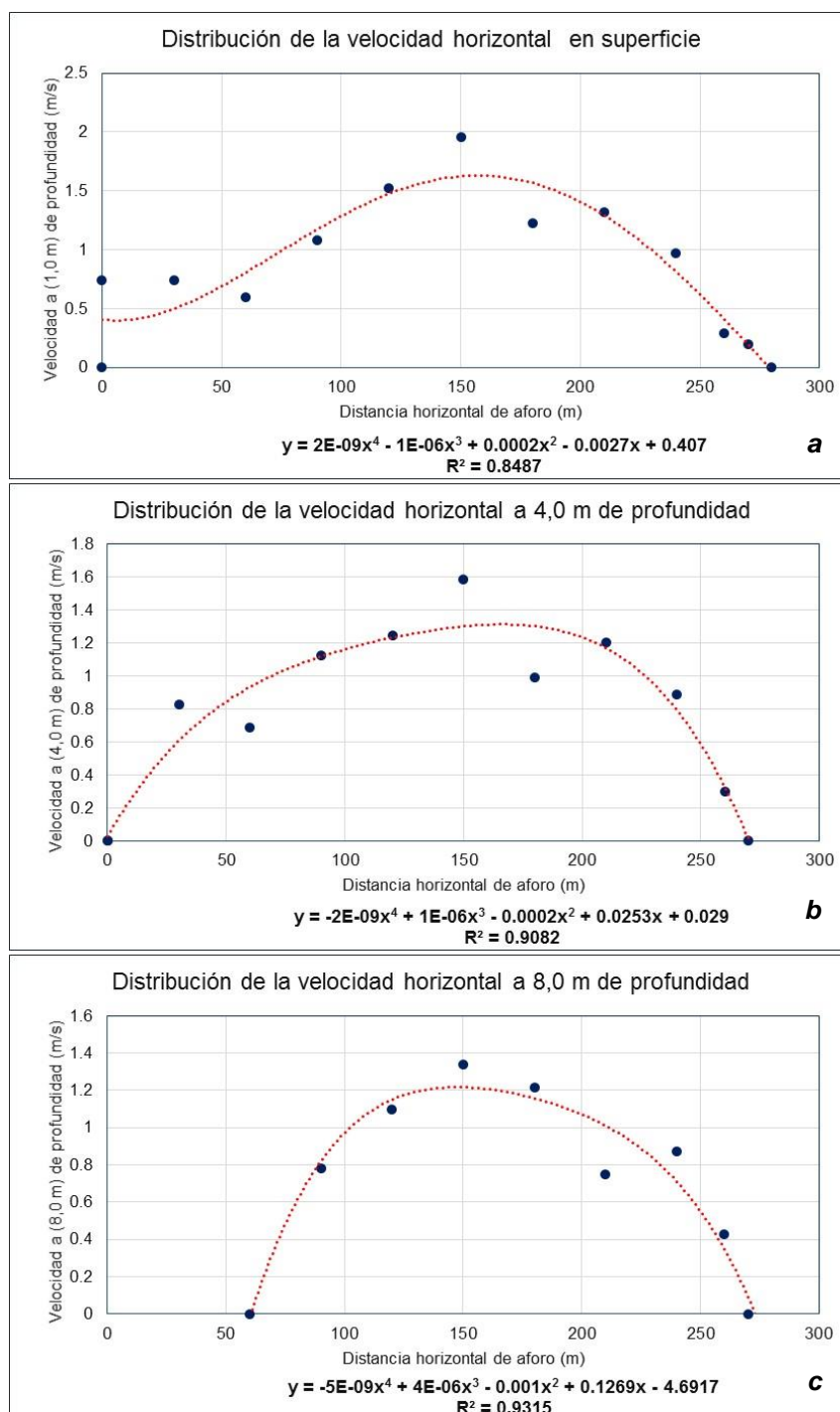


Figura 4-199. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades  
a) Superficial, b) 4,0 metros y c) 8,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

- Durante mayo 2003:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 2,66 m/s, alcanzando un valor medio de 1,44 m/s. La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 13,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 120 m desde la margen izquierda, mientras que las mayores velocidades se presentan en la vertical de 150 metros desde la margen izquierda.

En la **Figura 4-200**, se aprecia la distribución de la velocidad vertical para el punto correspondiente a una distancia de 60 m desde la margen izquierda, cuyo comportamiento es variable en relación a la profundidad, con velocidades que fluctúa entre 0,0 m/s a 1,54 m/s, alcanzado una media de 1,29 m/s, valor que se ubicaría aproximadamente a una profundidad de 2,5 metros desde la superficie. El ajuste realizado a través de una expresión algebraica de cuarto grado, nos indica que la mayor velocidad se registra a una profundidad de 1,5 metros de la superficie (38%) cuyo valor es de 1,60 m/s.

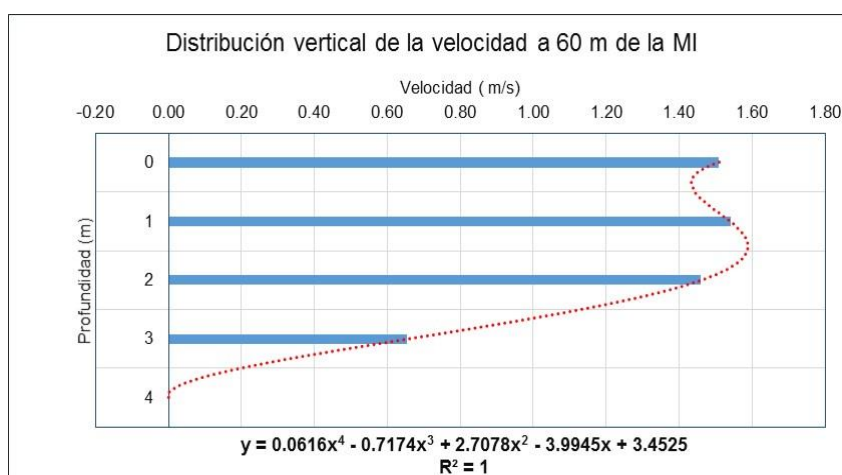


Figura 4-200. Perfil de velocidad vertical punto 60 m de la MI  
Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-201**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a una distancia de la margen izquierda de 150 metros, cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 2,66 m/s, alcanzado una media de 2,24 m/s, valor que se ubica aproximadamente a una profundidad media de 5,5 metros desde la superficie de agua.

El perfil de velocidades, muestra claramente un patrón de comportamiento muy variable desde el fondo hacia la superficie, que ha dado origen que se presenten dos zonas con velocidades máximas. A través de una expresión algebraica de cuarto grados, hemos obtenido una ecuación que describa el régimen de velocidades donde los mayores valores se presentan a unas profundidades de 1,0 metros (8%) con un valor medio de 2,60 m/s.



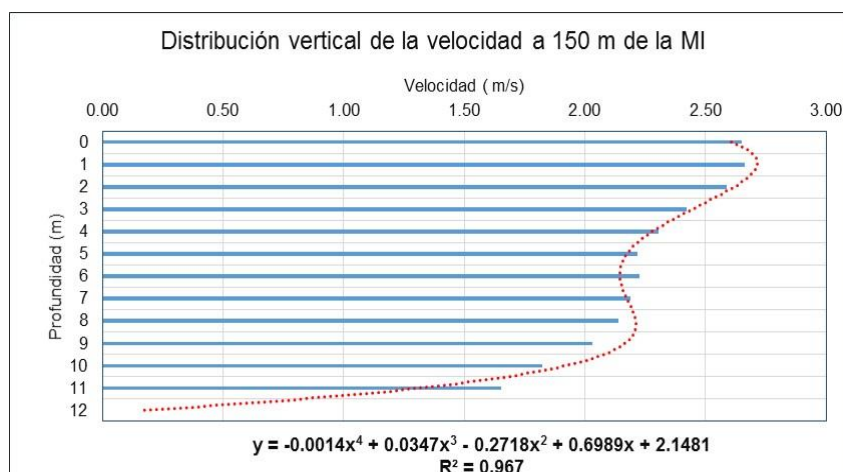


Figura 4-201. Perfil de velocidad vertical punto 150 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-202**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 180 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores fluctúa entre 0, m/s a 1,74 m/s, alcanzando un valor medio de 1,44 m/s; que se ubica aproximadamente a una profundidad de 4,5 m desde la superficie del agua. La velocidad máxima para esta vertical se presenta a una profundidad media de 3,0 metros desde la superficie, con un valor de 1,75 m/s.

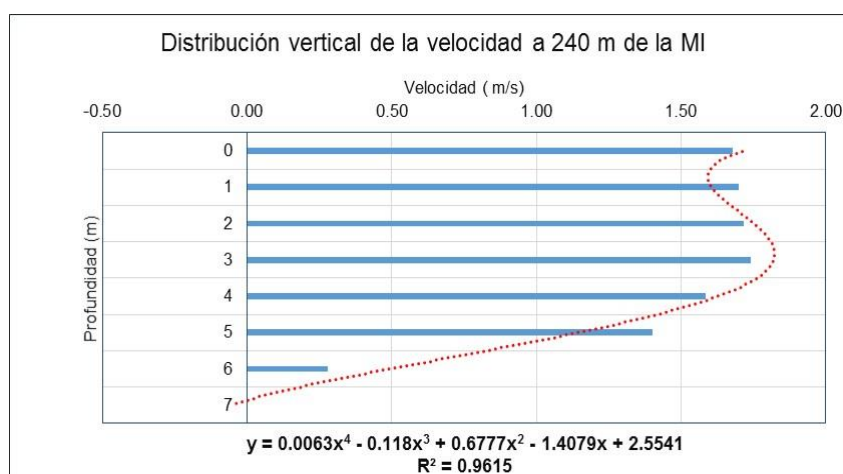


Figura 4-202. Perfil de velocidad vertical punto 240 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

La velocidad media para esta sección se ha determinado sobre la base de los valores registrados en cada una de las verticales y a nivel de profundidad, obteniendo la **Figura 4-203**, donde claramente apreciamos como se distribuye el perfil de velocidades y que ha sido ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, donde los mayores valores se registran a una profundidad media de 7,00 metros (54%), con una velocidad de 1,70 m/s.

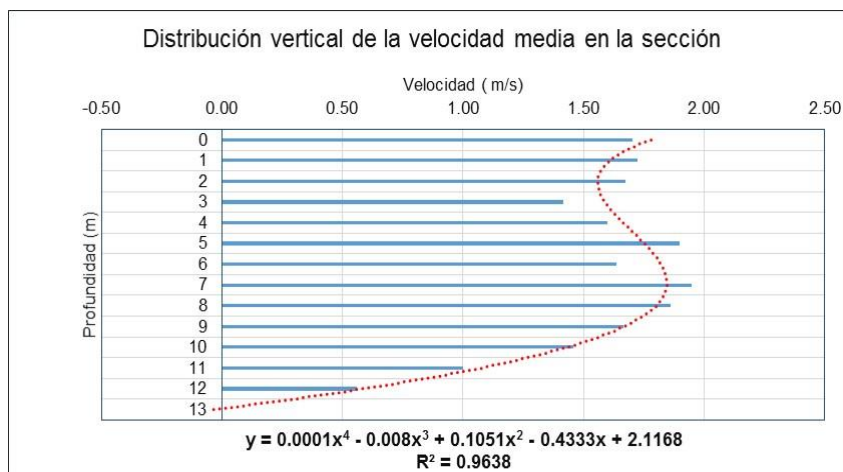


Figura 4-203. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

La distribución de la velocidad horizontal del agua a diferentes niveles de profundidades se muestran en la **Figura 4-204**, donde se ha representado los valores a 0,0 m, 4,0 m y 8,0 metros de profundidad; apreciándose claramente como el comportamiento de la velocidad a nivel superficial y sub superficial se orienta ligeramente hacia la margen derecha del río donde se concentran las líneas de corrientes a medida que se va profundizando en la sección.

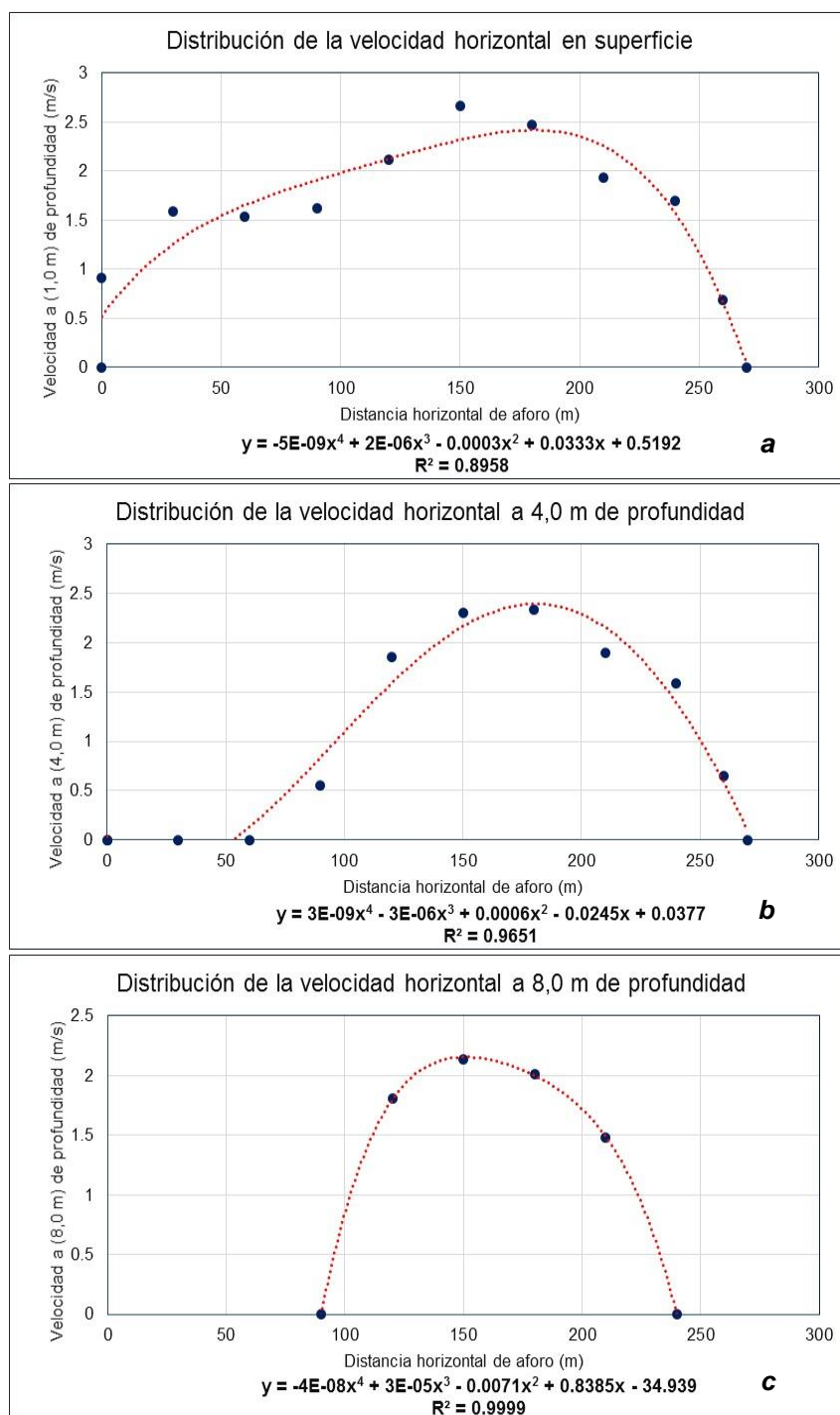


Figura 4-204. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades.

a) Superficial, b) 4,0 metros y c) 8,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

#### 4.4.7 Estación San Regis

Iniciaremos analizando los resultados que se generaron para cada uno de los períodos considerados en el proceso, obteniéndose lo siguiente:

Para ello hemos considerado importante definir algunos criterio básicos que nos ayudarán a enmarcar el procesos de análisis y obtener una caracterización del perfil de velocidades en cada una de las secciones transversales de aforo.

- Se realizara el análisis para los períodos comprendido entre vaciante y creciente
- Se determinara para cada mes, el valor promedio de distribución de velocidades
- Para las velocidades representativas, se tomaran los puntos correspondientes a las zonas comprendidas entre:
  - o Margen izquierda
  - o Margen central
  - o Margen derecha
- Se definirán las distribuciones de velocidades horizontales de la sección para tres puntos:
  - o Superficial,
  - o Media,
  - o Fondo

Para esta estación se obtuvieron una total de 04 perfiles de distribución de velocidades, las cuales fueron distribuidas tal como se muestra en la **Tabla 4-17**, obteniéndose para los meses de julio, agosto, octubre. Marzo y mayo un aforo para cada uno y que comprende los años 2003, 2005 y 2008.

Tabla 4-17. Secciones hidráulicas con velocidades

Periodos	Junio	Julio	Setiembre
	2009, 2011, 2014	2005, 2010	2003, 2005, 2010, 2012
Periodo	Febrero	Abril	Mayo
	2006, 2007, 2009	2005, 2008, 2013	2003, 2006 2007, 2009

Fuente: elaboración propia

En la **Figura 4-205**, se muestra la distribución de la velocidad media de la sección de aforo, apreciándose que las mayores velocidades se concentran en la margen derecha del río.

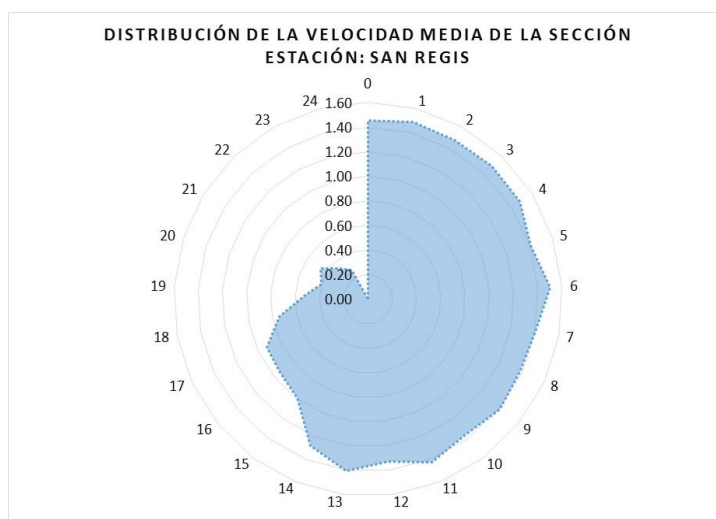


Figura 4-205. Distribución de la velocidad media de la sección del río

Fuente: Elaboración propia

**a) Periodo Junio / Setiembre**

- Durante junio 2005/2009/2014:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 2,04 m/s, alcanzando un valor medio de 1,15 m/s.

La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 24,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 360 m desde la margen izquierda; sin embargo, la vertical donde se registran las mayores velocidades se encuentra a 260 metros de la margen izquierda.

En el punto correspondiente a los 160 metros, desde la margen izquierda, hemos obtenido los diferentes valores de velocidades en función a la profundidad, obteniendo la **Figura 4-206**, donde apreciamos que el perfil tiene un comportamiento directamente proporcional con la profundidad, permitiendo ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado; que representa en forma teórica el perfil de la velocidad.

Para nuestro caso, el ajuste nos indica que la mayor velocidad se registra aproximadamente a una profundidad media de 2,0 m (9%) de la superficie del agua, con una velocidad de 1,85 m/s. Además, la velocidad media en la vertical es de 1,57 m/s que se ubica aproximadamente a 11,5 m desde la superficie.

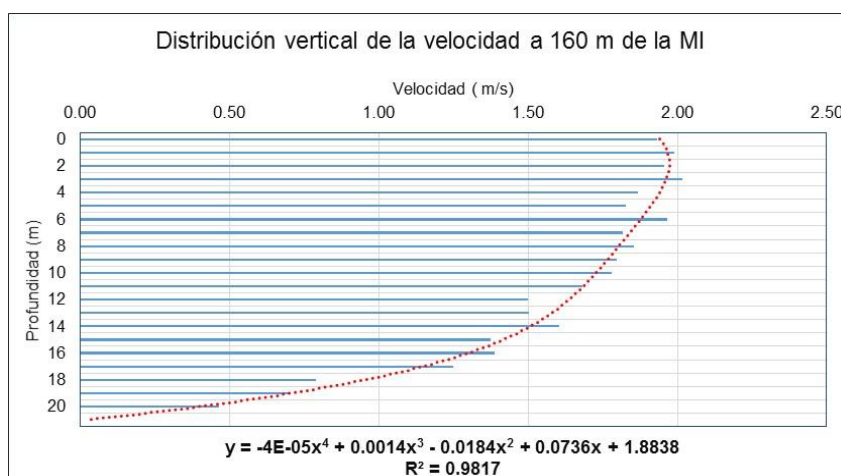


Figura 4-206. Perfil de velocidad vertical punto 160 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-207**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a una distancia de la margen izquierda de 460 metros, cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 2,04 m/s, alcanzado una media de 1,40 m/s, valor que se ubica aproximadamente a una profundidad media de 13,5 metros desde la superficie de agua.

Según los datos de velocidades, el perfil de distribución muestra un comportamiento variable desde el fondo hacia la superficie, permitiendo generar un ajuste teórico a través de una expresión algebraica de cuarto grados, cuya ecuación nos indica que las mayores velocidades se presentan en la parte superficial con un valor de 2,0 m/s.

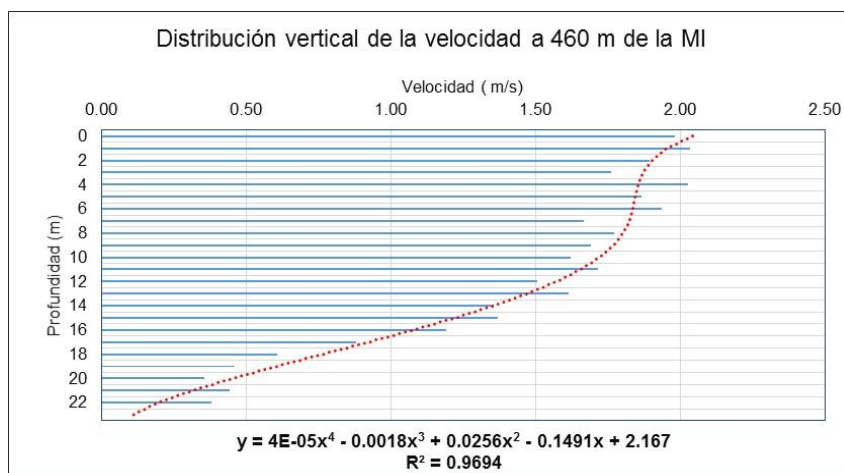


Figura 4-207. Perfil de velocidad vertical punto 460 m de la MI  
Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-208**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 650 metros de la margen izquierda, apreciándose que la distribución de los valores fluctúa entre 0, m/s a 1,89 m/s, alcanzando un valor medio de 1,43 m/s; que se ubica a una profundidad de 10,5 m de la superficie. La velocidad máxima se presenta en la superficie del agua con un valor de 1,85 m/s.

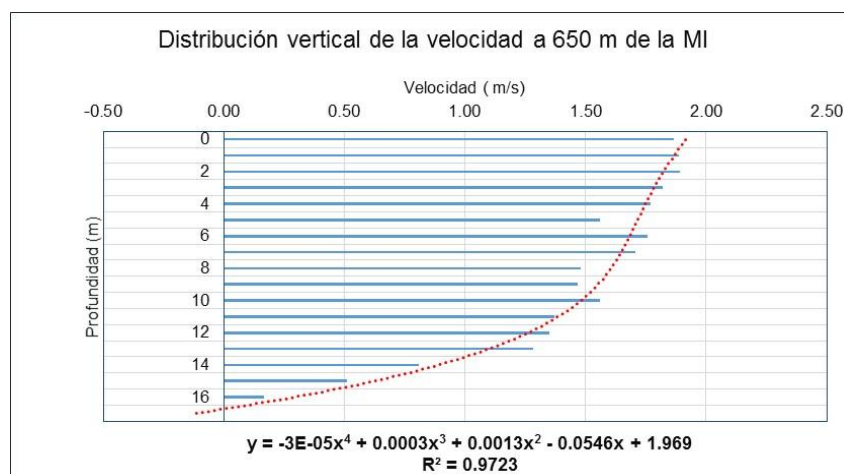


Figura 4-208. Perfil de velocidad vertical punto 650 m de la MI  
Fuente. Elaboración propia

La velocidad media para esta sección se ha determinado sobre la base de los valores registrados en cada una de las verticales y a nivel de profundidad, obteniéndose la **Figura 4-209**, donde claramente apreciamos una distribución uniforme del perfil de velocidades; al cual se le ha ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, que nos muestra que las mayores velocidades se presentan en la superficie con un valor de 1,5 m/s.

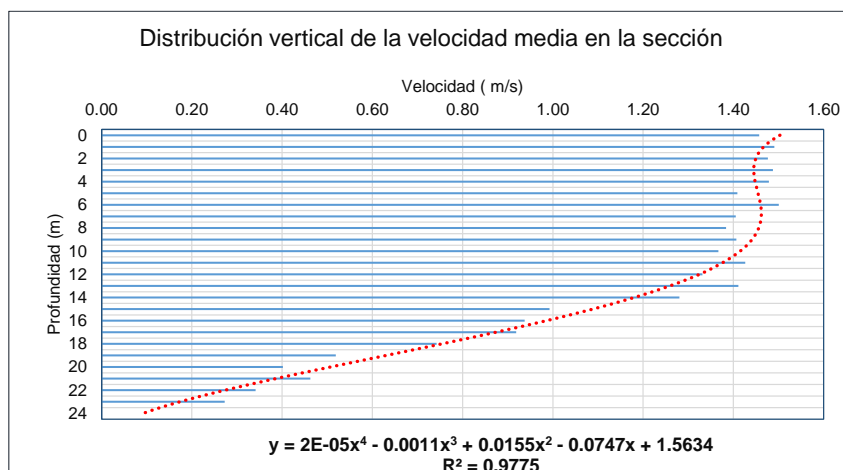


Figura 4-209. Perfil de velocidad vertical media de la sección

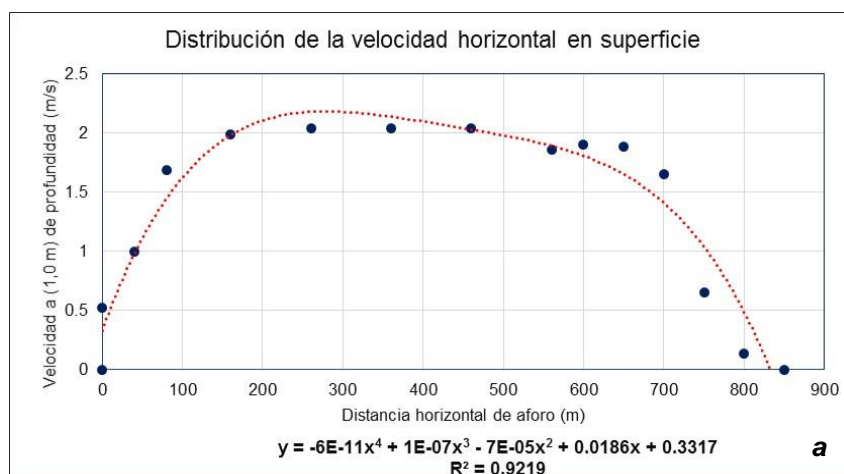
Fuente. Elaboración propia

En relación a la distribución de la velocidad horizontal, se han seleccionado los puntos ubicados en superficie, 8 metros y 16 metros de profundidad para conocer el comportamiento de la velocidad del río en función de su sección transversal. En la **Figura 4-210** se muestran los perfiles de velocidades para los puntos seleccionados, lo que nos indica que la caja hidráulica mantiene su forma estable; sin embargo, las líneas de corriente se pegan a la margen izquierda del río.

- Durante agosto 2008:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 1,85 m/s, alcanzando un valor medio de 0,86 m/s.

La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 20,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 360 m desde la margen izquierda. La zona con las mayores velocidades está a 460 metros de la margen izquierda.





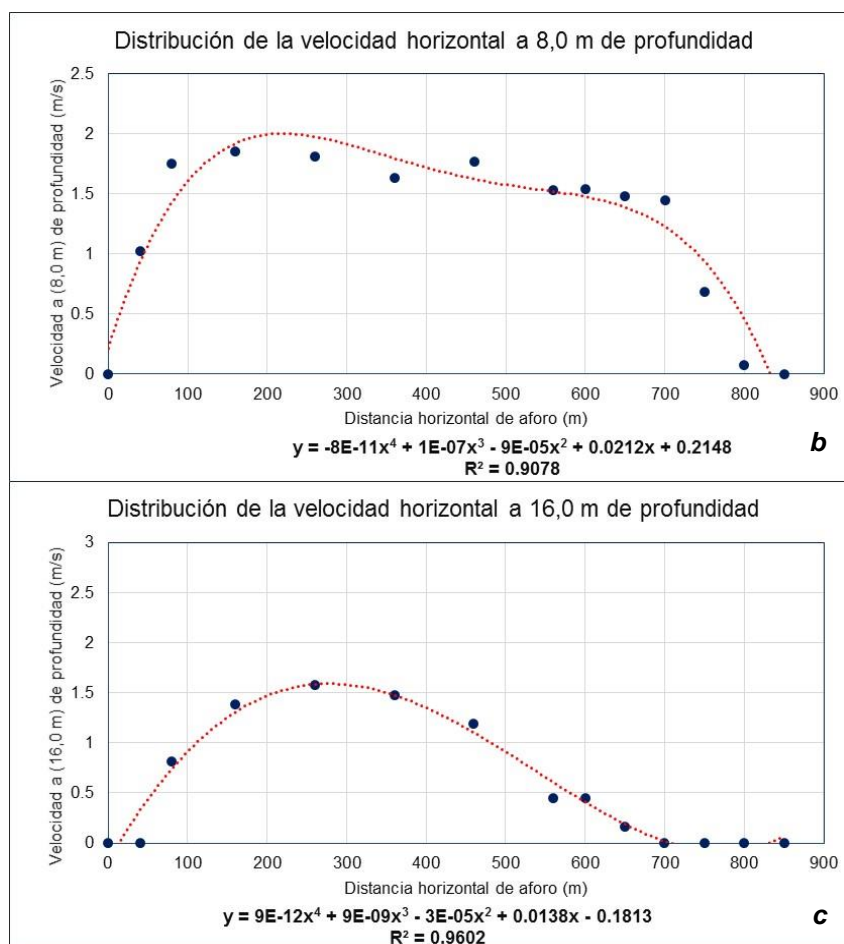


Figura 4-210. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades

a) Superficial, b) 5,0 metros y c) 9,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

En el punto correspondiente a los 160 metros de la margen izquierda, se tiene los valores de las velocidades en esta vertical, cuyos datos plotados se muestran en la **Figura 4-211**, con un comportamiento variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado; que permite representar en forma teórica el perfil de la velocidad.

En nuestro caso, el ajuste nos indica que la mayor velocidad se registra aproximadamente a una profundidad de 1,5 metros de la superficie (8%) y equivale a un valor de 1,81 m/s. Además, la velocidad media es de 1,22 m/s que se ubica aproximadamente a 9,5 m desde la superficie.

En la **Figura 4-212**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a una distancia de la margen izquierda de 460 metros, cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 1,85 m/s, alcanzado una media de 1,35 m/s, valor que se ubica aproximadamente a una profundidad media de 11,5 metros desde la superficie de agua.

Según los datos de velocidades, el perfil de distribución muestra un comportamiento variable desde el fondo hacia la superficie, permitiendo generar un ajuste teórico a través de una

expresión algebraica de cuarto grados, cuya ecuación nos indica que las mayores velocidades se presentan en la superficie del agua con un valor medio de 1,85 m/s.

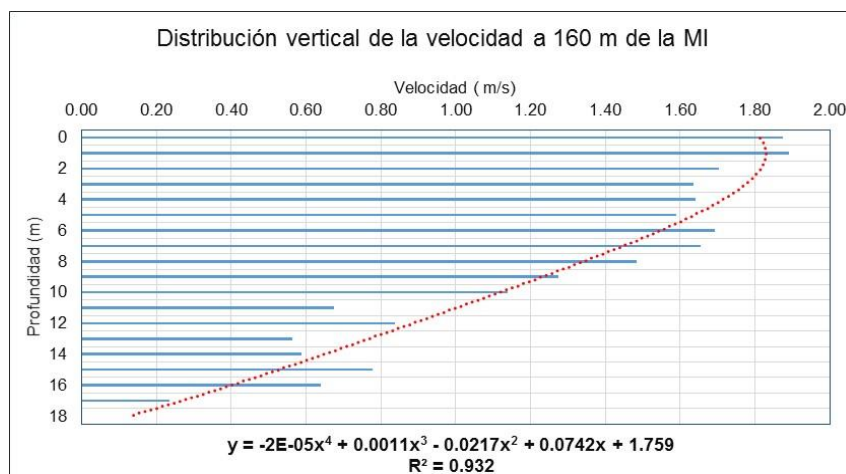


Figura 4-211. Perfil de velocidad vertical punto 160 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

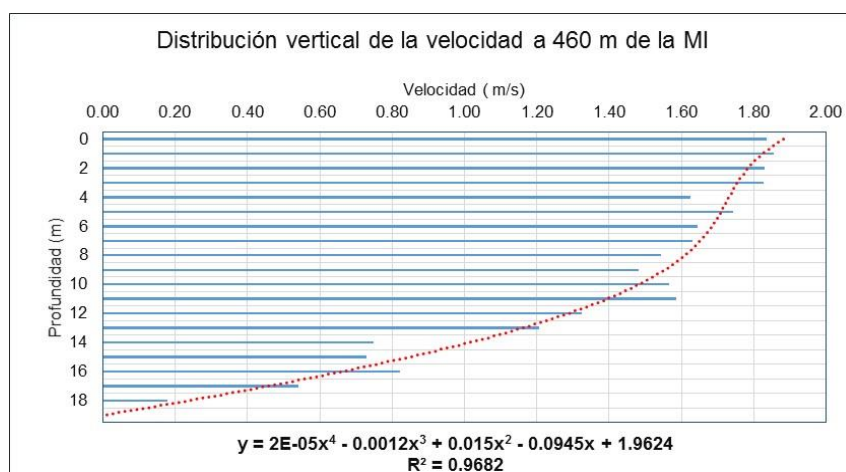


Figura 4-212. Perfil de velocidad vertical punto 460 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-213**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 650 metros de la margen izquierda, apreciándose que la distribución de los valores fluctúa entre 0, m/s a 1,38 m/s, alcanzando un valor medio de 1,12 m/s; que se ubica a una profundidad de 6,5 m de la superficie. La velocidad máxima se presenta a una profundidad media de 4,0 metros (29%) con un valor de 1,35 m/s.

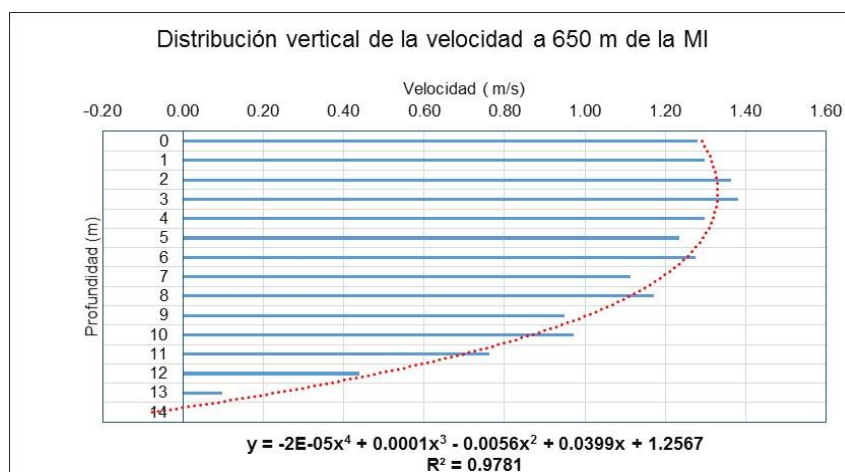


Figura 4-213. Perfil de velocidad vertical punto 650 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

La velocidad media para esta sección se ha determinado sobre la base de los valores registrados en cada una de las verticales y a nivel de profundidad, obteniendo la **Figura 4-214**, donde claramente apreciamos una distribución uniforme del perfil de velocidades; al cual se le ha ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, que nos muestra que las mayores velocidades se presentan a una profundidad media de 4,0 metros (20%) con un valor medio de 1,20 m/s.

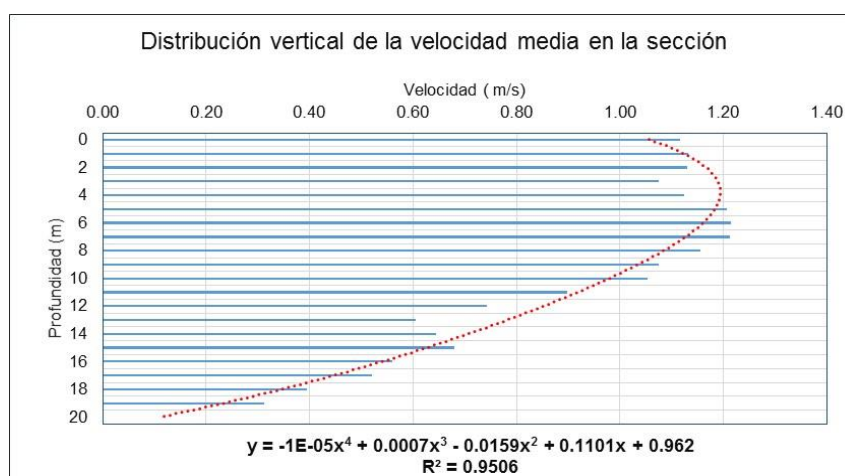


Figura 4-214. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

En relación a la distribución de la velocidad horizontal, hemos seleccionado los puntos ubicados a nivel superficial, 7,0 m y 14,0 m, con los cual podemos apreciar la variabilidad de la caja hidráulica la cual se va centrando a raíz que tanto la margen izquierda y derecha va registrando procesos de estrangulación, tal como se aprecia en la **Figura 4-215**.

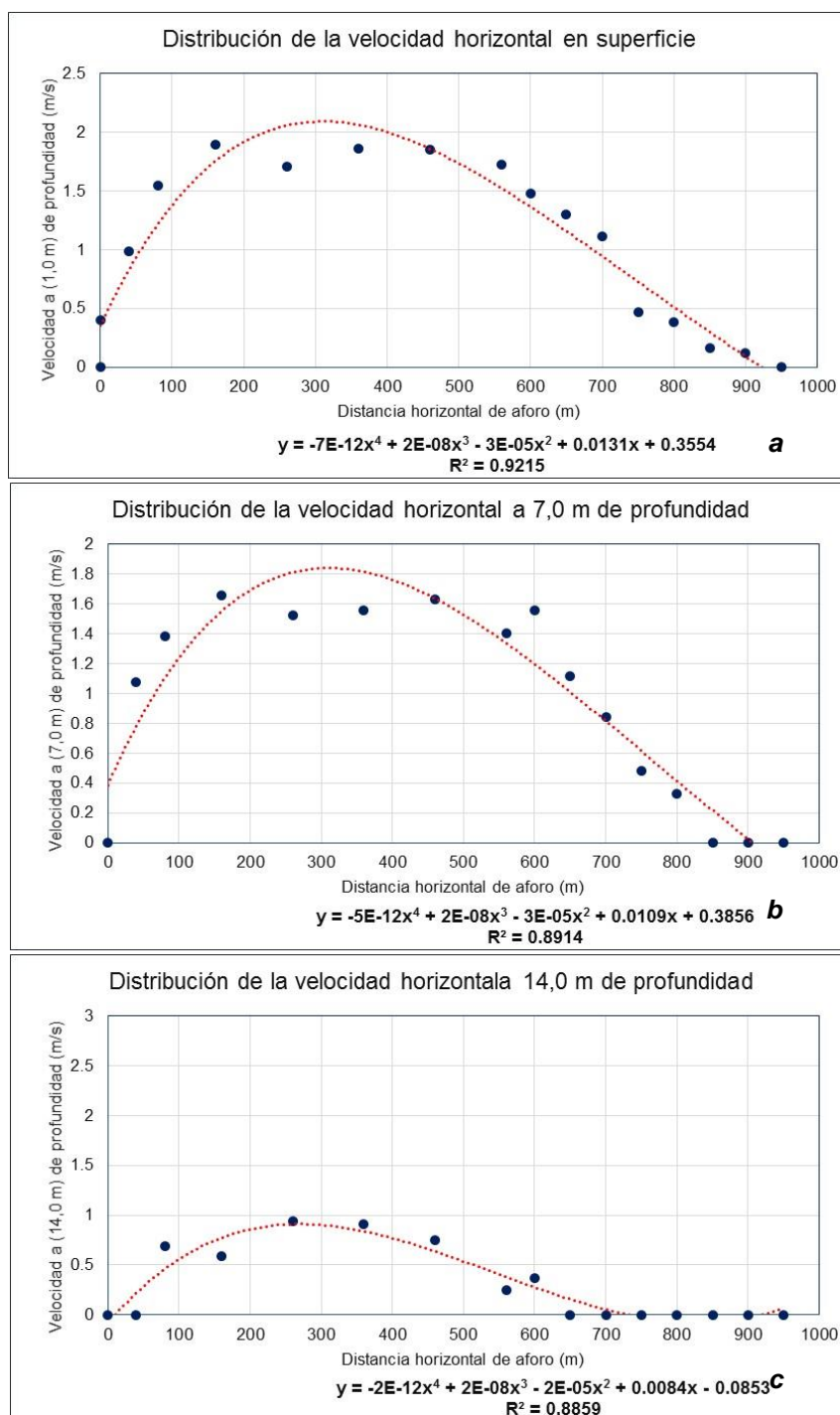


Figura 4-215. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades

a) Superficial, b) 7,0 metros y c) 14,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

En el punto correspondiente a los 160 metros de la margen izquierda, se tiene los valores de las velocidades en esta vertical, cuyos datos ploteados se muestran en la **Figura 4-216**, con un comportamiento variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado; que permite representar en forma teórica el perfil de la velocidad.

En nuestro caso, el ajuste nos indica que la mayor velocidad se registra aproximadamente a una profundidad de 4,0 metros de la superficie (25%) y equivale a un valor de 1,50 m/s.

Además, la velocidad media es de 1,09 m/s que se ubica aproximadamente a 9,5 m desde la superficie.

En la **Figura 4-217**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a una distancia de la margen izquierda de 460 metros, cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 1,63 m/s, alcanzado una media de 1,12 m/s, valor que se ubica aproximadamente a una profundidad media de 10,5 metros desde la superficie de agua.

Según los datos de velocidades, el perfil de distribución muestra un comportamiento variable desde el fondo hacia la superficie, permitiendo generar un ajuste teórico a través de una expresión algebraica de cuarto grados, cuya ecuación nos indica que las mayores velocidades se presentan en la superficie del agua con un valor medio de 1,85 m/s.

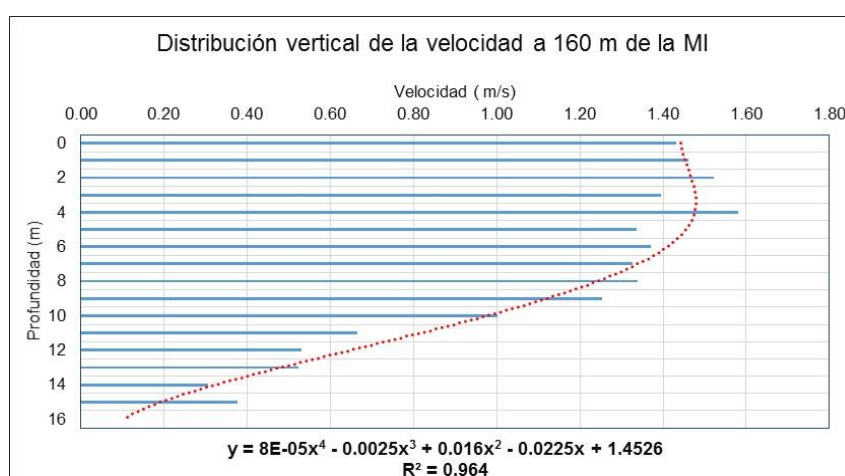


Figura 4-216. Perfil de velocidad vertical punto 160 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

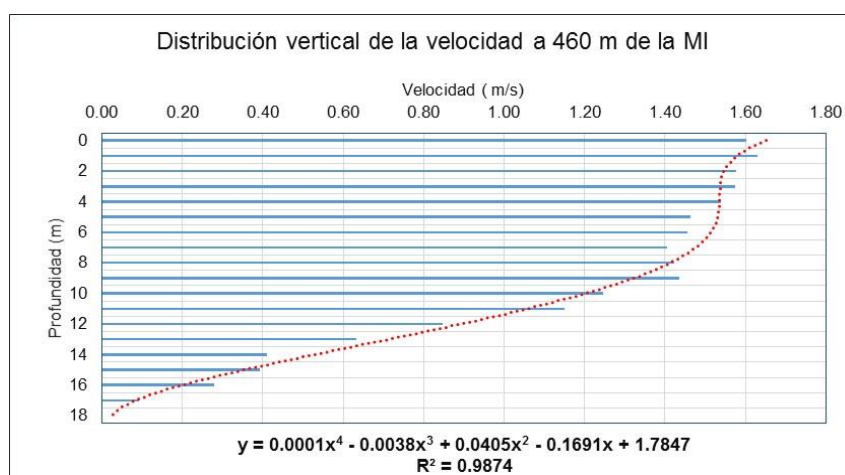


Figura 4-217. Perfil de velocidad vertical punto 460 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-218**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 650 metros de la margen izquierda, apreciándose que la distribución de los valores fluctúa entre 0, m/s a 0,99 m/s, alcanzando un valor medio de 0,71 m/s; que se ubica a una profundidad de 7,5

m de la superficie. La velocidad máxima se presenta a una profundidad media de 2,0 metros (13%) con un valor de 1,10 m/s.

La velocidad media para esta sección se ha determinado sobre la base de los valores registrados en cada una de las verticales y a nivel de profundidad, obteniendo la **Figura 4-219**, donde claramente apreciamos una distribución uniforme del perfil de velocidades; al cual se le ha ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, que nos muestra que las mayores velocidades se presentan a una profundidad media de 2,0 metros (10%) con un valor medio de 1,21 m/s.

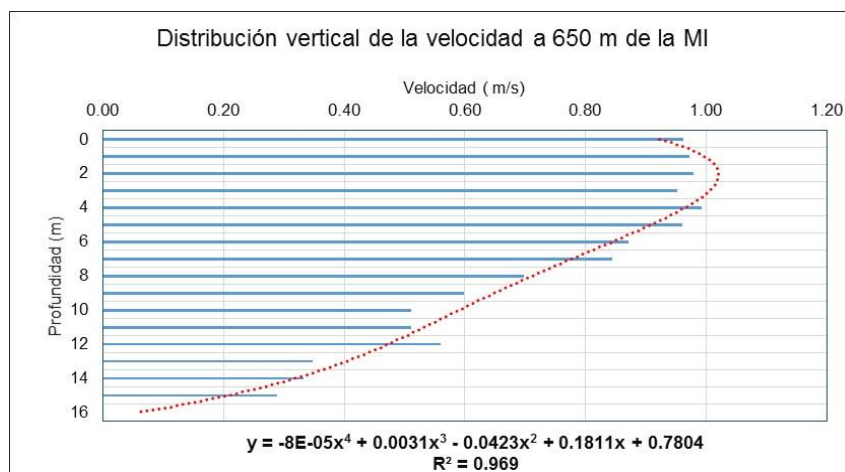


Figura 4-218. Perfil de velocidad vertical punto 650 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

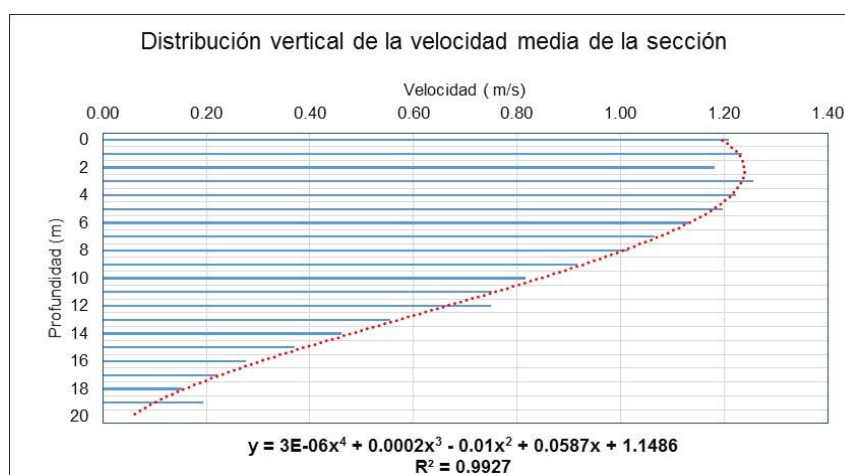


Figura 4-219. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

## b) *Periodo febrero / mayo*

En relación a la distribución de la velocidad horizontal, hemos seleccionado los puntos ubicados a nivel superficial, 7,0 m y 14,0 m, con los cual podemos apreciar la variabilidad de la caja hidráulica la cual se va centrando a raíz que tanto la margen izquierda y derecha va registrando procesos de estrangulación, tal como se aprecia en la **Figura 4-220**.

- Durante febrero 2006 / 2007 / 2009:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 2,25 m/s, alcanzando un valor medio de 1,13 m/s.

La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 21,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 360 m; mientras que la mayor velocidad en la vertical se registra en 260 metros de la margen izquierda.

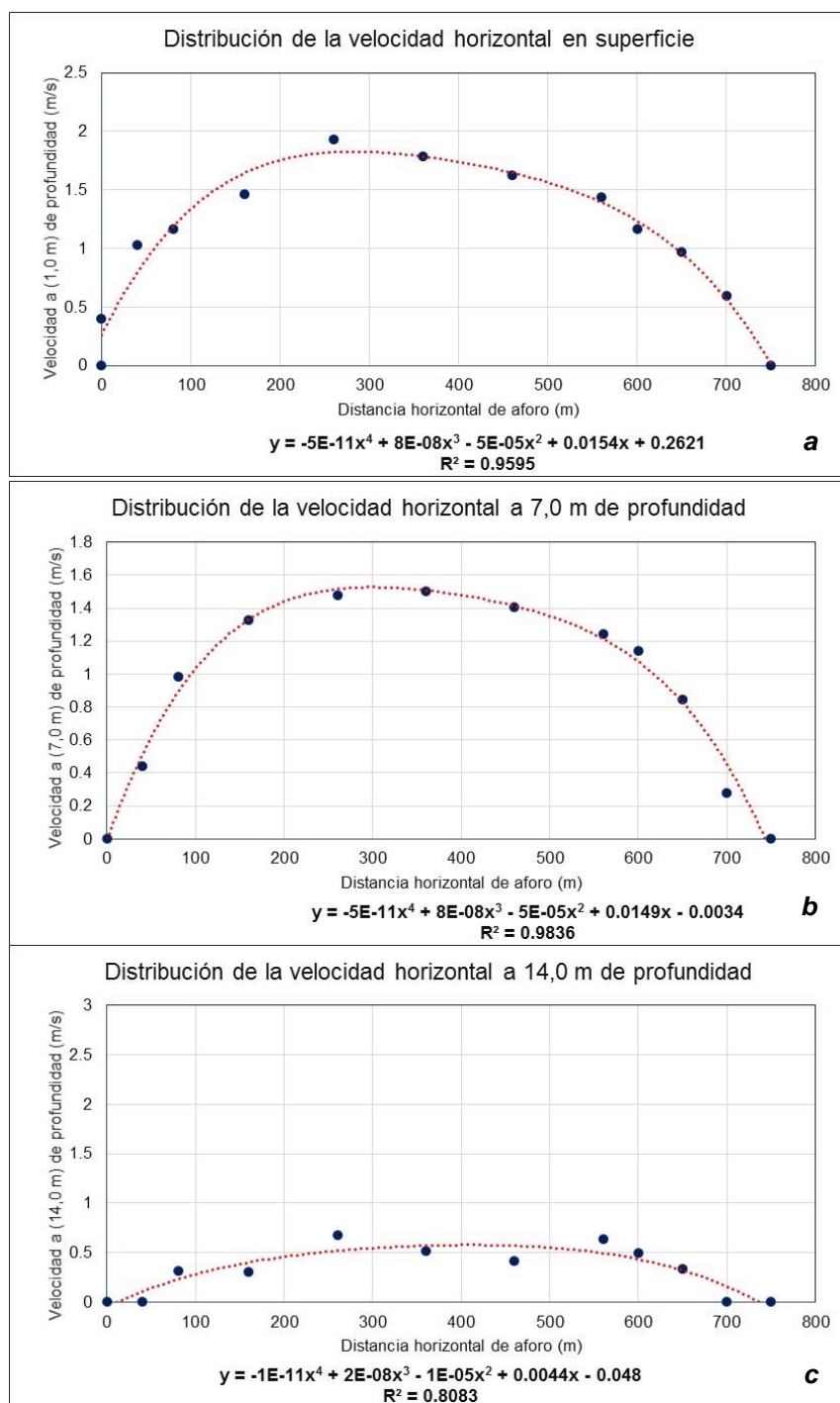


Figura 4-220. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades Superficial, b) 7,0 metros y c) 14,0 m de profundidad



En la **Figura 4-221**, se aprecia la distribución de la velocidad vertical para una distancia media de 160 metros de la margen izquierda, cuyo comportamiento es variable en relación a la profundidad, lo que ha permitido ajustar la serie a una expresión algebraica de cuarto grado, permitiendo representar teóricamente el perfil de la velocidad desde el fondo del canal hasta la superficie libre de agua.

El ajuste realizado nos indica que la mayor velocidad se registra en la superficie del agua con un valor es de 1,95 m/s. Además, la velocidad media es de 1,48 m/s que se ubica a una profundidad media de 11,0 m desde la superficie.

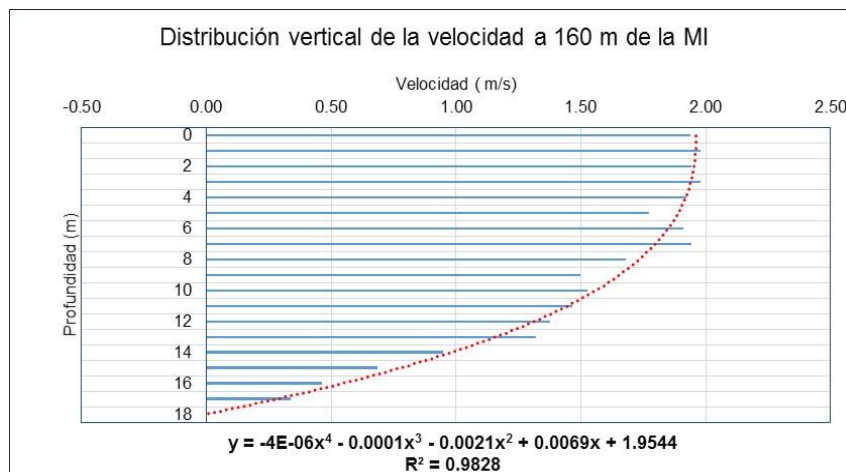


Figura 4-221. Perfil de velocidad vertical punto 160 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-222**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a una distancia de la margen izquierda de 560 metros, cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 2,07 m/s, alcanzado una media de 1,47 m/s, valor que se ubica aproximadamente a una profundidad media de 12,5 metros desde la superficie de agua.

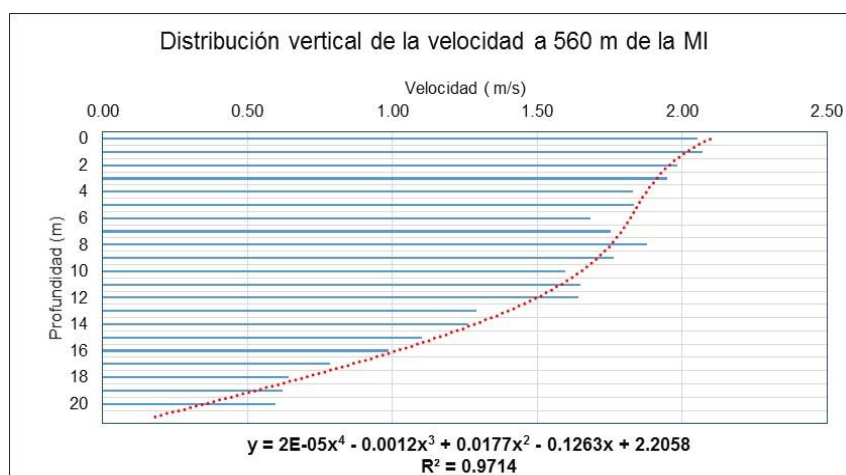


Figura 4-222. Perfil de velocidad vertical punto 560 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

El perfil de velocidades, muestra claramente un patrón de comportamiento variable desde el fondo hacia la superficie. A través de una expresión algebraica de cuarto grados, hemos obtenido una ecuación que describa el régimen de velocidades donde los mayores valores se presentan en la superficie del agua con un valor de 2,10 m/s

En la **Figura 4-223**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 750 metros de la margen izquierda, apreciándose que la distribución de los valores fluctúa entre 0,0 m/s a 1,58 m/s, alcanzando un valor medio de 0,87 m/s; que se ubica aproximadamente a una profundidad de 8,5 m desde la superficie del agua. La velocidad máxima para esta vertical se presenta a una profundidad media de 3,0 metros con un valor medio de 1,48 m/s.

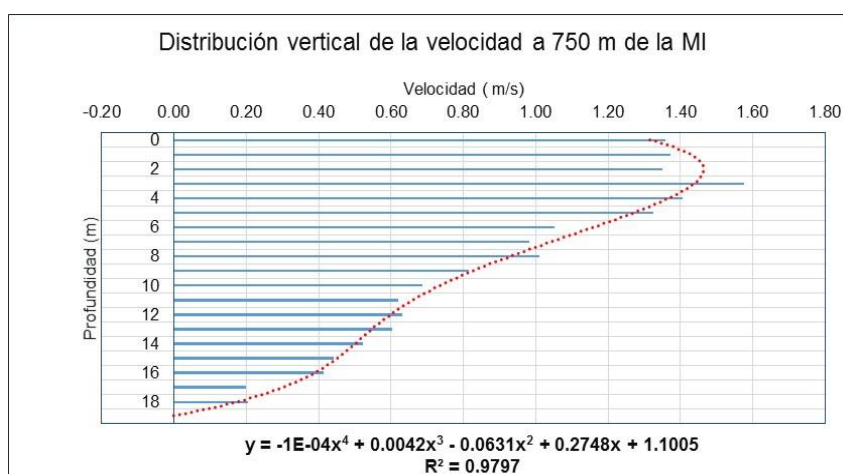


Figura 4-223. Perfil de velocidad vertical punto 750 m de la MI  
Fuente. Elaboración propia

La velocidad media para esta sección se ha determinado sobre la base de los valores registrados en cada una de las verticales y a nivel de profundidad, obteniendo la **Figura 4-224**, donde claramente apreciamos como se distribuye el perfil de velocidades y que ha sido ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, donde los mayores valores se registran en la superficie del agua con un valor medio de 1,55 m/s.

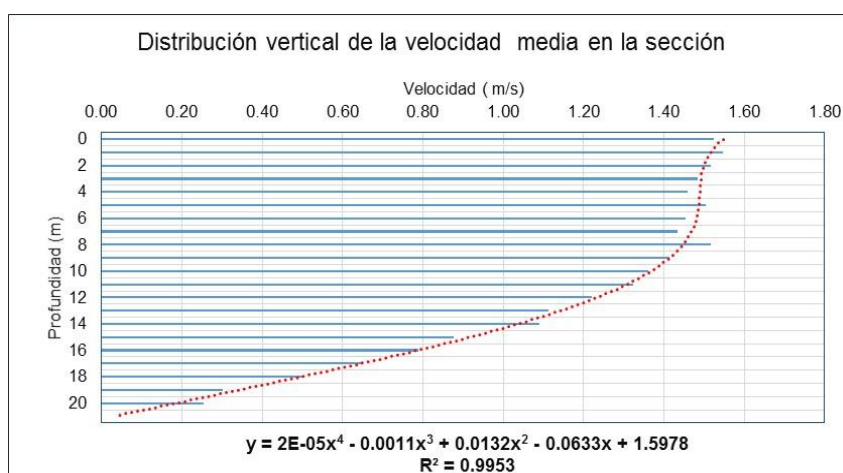


Figura 4-224. Perfil de velocidad vertical media de la sección  
Fuente. Elaboración propia

La distribución de la velocidad horizontal del agua a diferentes niveles de profundidades se muestran en la **Figura 4-225**, donde se ha representado los valores a 0,0 m, 7,0 m y 14,0 metros de profundidad; apreciándose claramente como el comportamiento de la velocidad a nivel superficial y sub superficial se orientada ligeramente hacia la parte central del río, donde se ubica la caja hidráulica de la sección; mientras que la margen derecha e izquierda se va acortando a media que se va profundizando hacia el cauce del río.

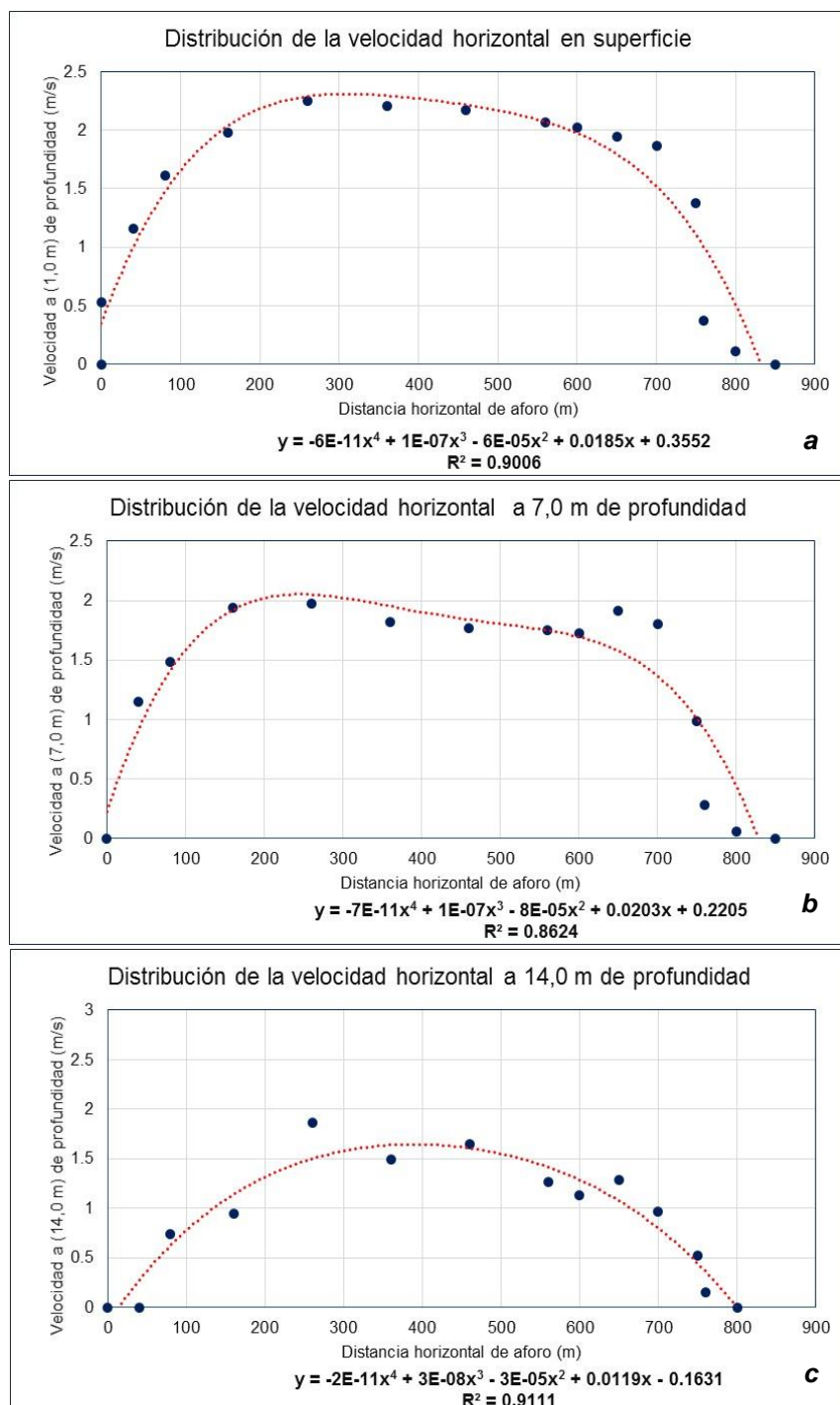


Figura 4-225. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades  
a) Superficial, b) 7,0 metros y c) 14,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

- Durante abril 2005 / 2008 / 2013:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 2,31 m/s, alcanzando un valor medio de 1,25 m/s.

La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 23,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 360 m desde la margen izquierda, donde además se registran las mayores velocidades en la vertical de la sección.

En la **Figura 4-226**, se aprecia la distribución de la velocidad vertical para el punto correspondiente a una distancia de 160 m desde la margen izquierda, cuyo comportamiento es variable en relación a la profundidad, con velocidades que fluctúa entre 0,0 m/s a 2,21 m/s, alcanzado una media de 1,68 m/s, valor que se ubicaría aproximadamente a una profundidad de 14,5 metros desde la superficie. El ajuste realizado a través de una expresión algebraica de cuarto grado, nos indica que la mayor velocidad se registra a una profundidad de 9,5 metros de la superficie (40%) cuyo valor es de 2,20 m/s.

En la **Figura 4-227** se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a una distancia de la margen izquierda de 560 metros, cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 2,12 m/s, alcanzado una media de 1,57 m/s, valor que se ubica aproximadamente a una profundidad media de 15,5 metros desde la superficie de agua.

El perfil de velocidades, muestra claramente un patrón de comportamiento muy variable desde el fondo hacia la superficie, que ha dado origen a un ajuste a través de una expresión algebraica de cuarto grados, cuya ecuación describe el régimen de velocidades presentándose los mayores valores en la superficie del agua con un valor medio de 2,30 m/s.

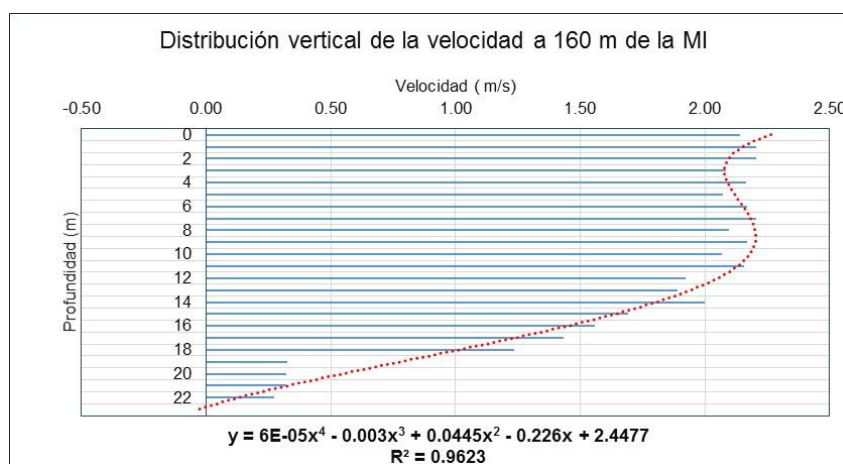


Figura 4-226. Perfil de velocidad vertical punto 160 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

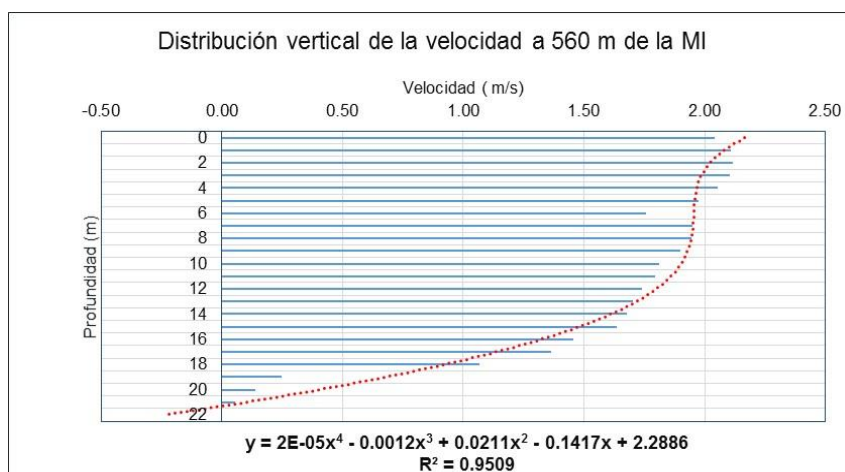


Figura 4-227. Perfil de velocidad vertical punto 560 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-228**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 750 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores fluctúa entre 0, m/s a 1,20 m/s, alcanzando un valor medio de 0,70 m/s; que se ubica aproximadamente a una profundidad de 7,5 m desde la superficie del agua. La velocidad máxima para esta vertical se presenta a una profundidad media de 3,0 metros desde la superficie, con un valor de 1,21 m/s.

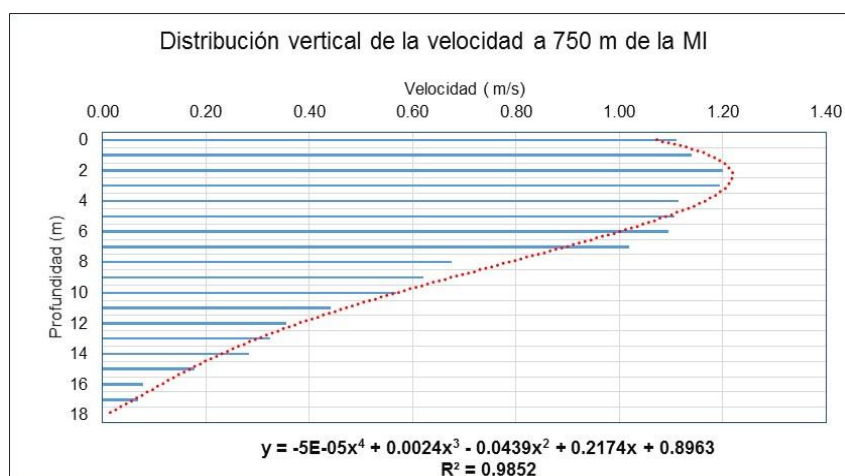


Figura 4-228. Perfil de velocidad vertical punto 750 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

La velocidad media para esta sección se ha determinado sobre la base de los valores registrados en cada una de las verticales y a nivel de profundidad, obteniendo la **Figura 4-229**, donde claramente apreciamos como se distribuye el perfil de velocidades y que ha sido ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, donde los mayores valores se tienen en la superficie del agua, con una velocidad de media de 1,65 m/s.

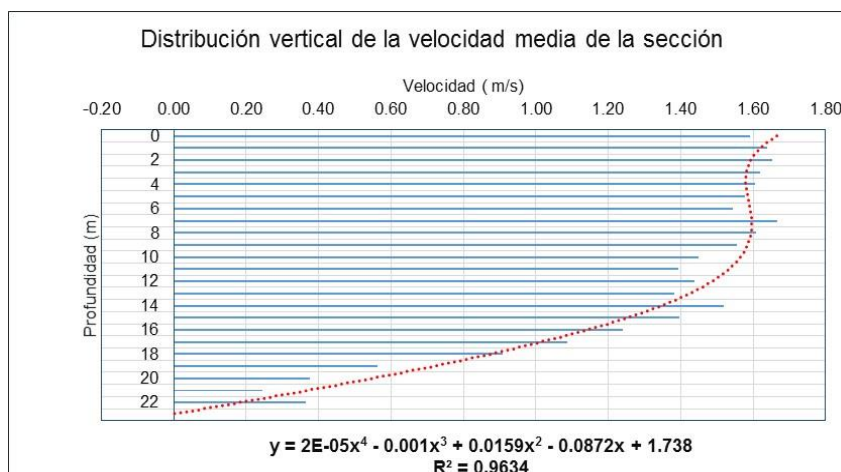


Figura 4-229. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

La distribución de la velocidad horizontal del agua a diferentes niveles de profundidades se muestran en la **Figura 4-230**, donde se ha representado los valores a 0,0 m, 8,0 m y 16,0 metros de profundidad; apreciándose claramente como el comportamiento de la velocidad a nivel superficial y sub superficial mantiene la caja hidráulica en toda la sección, por lo cual las líneas de corriente se distribuyen uniformemente, a pesar que las mayores velocidades se presentan en la margen izquierda.

- Durante mayo 2003 / 2006 / 2007 / 2009:

Las velocidades registradas presentaron un comportamiento variables en su distribución con valores que fluctuaron entre 0,0 m/s a 2,13 m/s, alcanzando un valor medio de 1,15 m/s.

La profundidad de la sección varía entre 0,0 m hasta los 25,0 m, justamente dicho valor se encuentra a 360 m desde la margen izquierda, donde además se registran las mayores velocidades en la vertical de la sección.

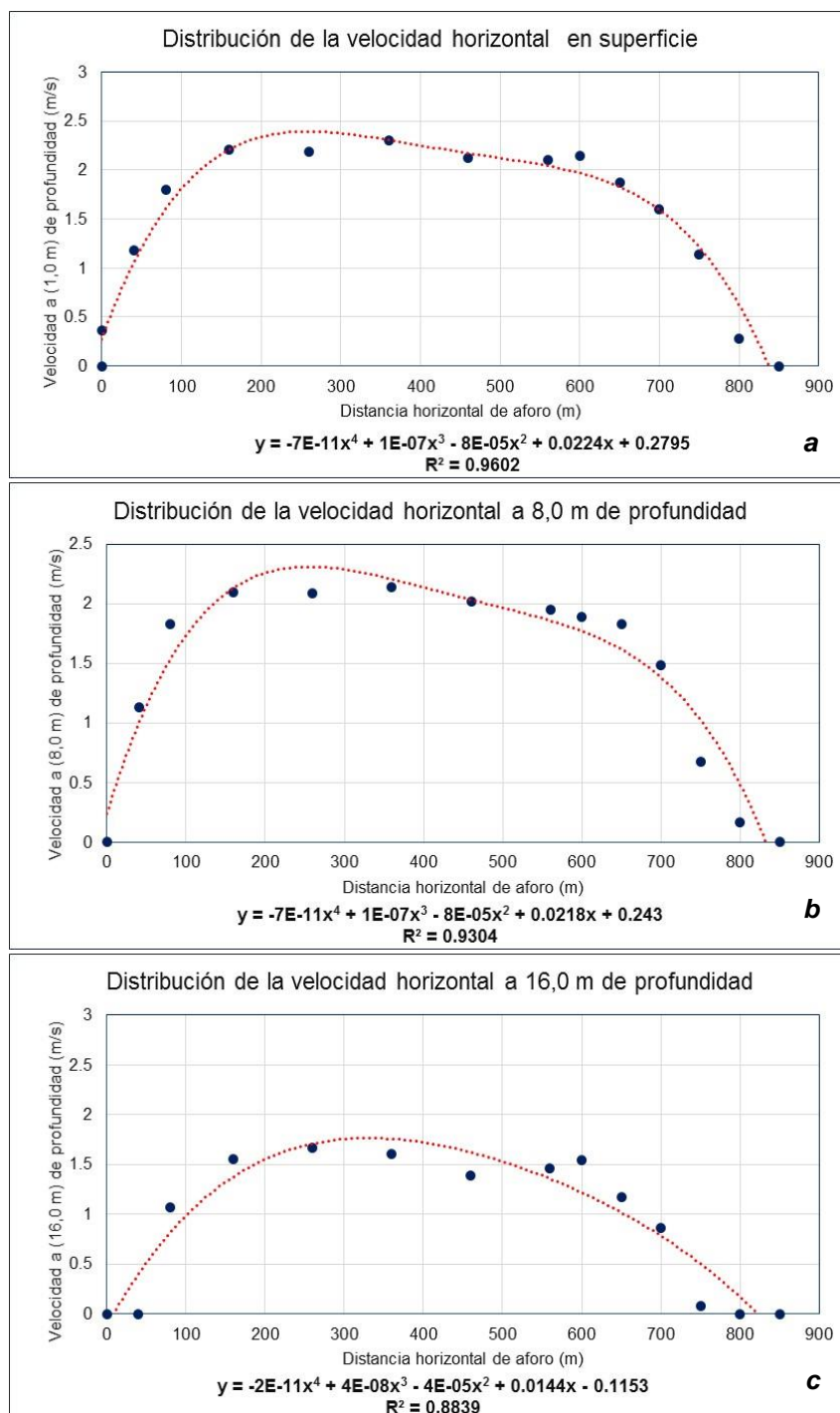


Figura 4-230. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades. a) Superficial, b) 8,0 metros y c) 16,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-231**, se aprecia la distribución de la velocidad vertical para el punto correspondiente a una distancia de 160 m desde la margen izquierda, cuyo comportamiento es variable en relación a la profundidad, con velocidades que fluctúa entre 0,0 m/s a 1,87 m/s, alcanzado una media de 1,40 m/s, valor que se ubicaría aproximadamente a una profundidad de 14,5 metros desde la superficie. El ajuste realizado a través de una expresión algebraica de



cuarto grado, nos indica que la mayor velocidad se registra en la superficie de la gua con una velocidad media de 1,80 m/s.

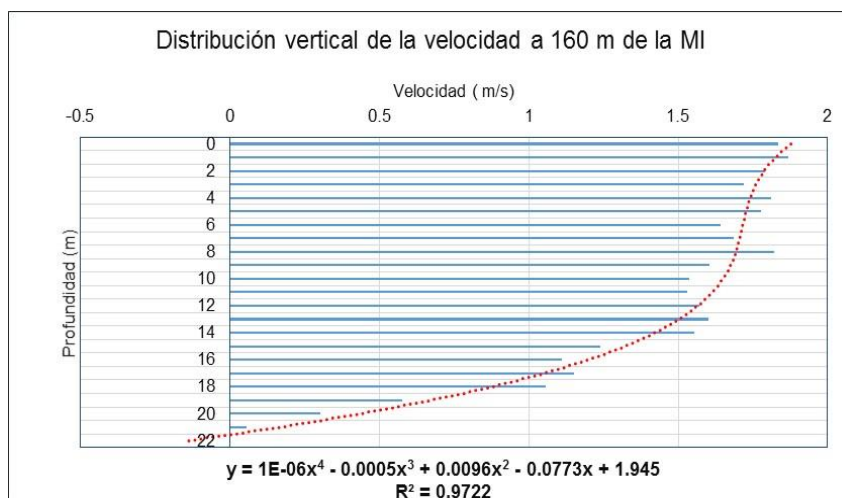


Figura 4-231. Perfil de velocidad vertical punto 160 m de la MI  
Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-232**, se muestra la distribución vertical de la velocidad del río a una distancia de la margen izquierda de 560 metros, cuyos valores fluctúan entre 0,0 m/s y 1,79 m/s, alcanzado una media de 1,34 m/s, valor que se ubica aproximadamente en la superficie del agua con una velocidad media de 1.85 m/s.

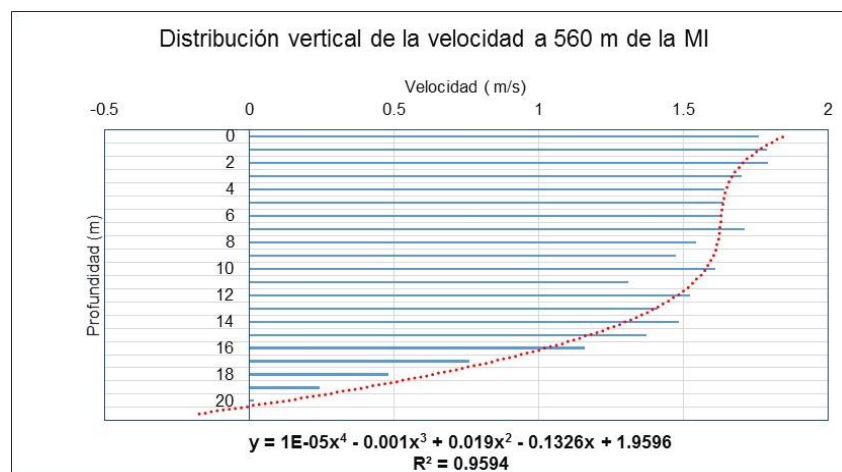


Figura 4-232. Perfil de velocidad vertical punto 560 m de la MI  
Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-233**, apreciamos el perfil de velocidades verticales para el punto ubicado a 750 metros de la margen izquierda (MI), apreciándose que la distribución de los valores fluctúa entre 0, m/s a 0,18 m/s, alcanzando un valor medio de 0,11 m/s; que se ubica aproximadamente a una profundidad de 4,5 m desde la superficie del agua. La velocidad máxima para esta vertical se presenta a una profundidad media de 2,0 metros desde la superficie, con un valor de 0,16 m/s.

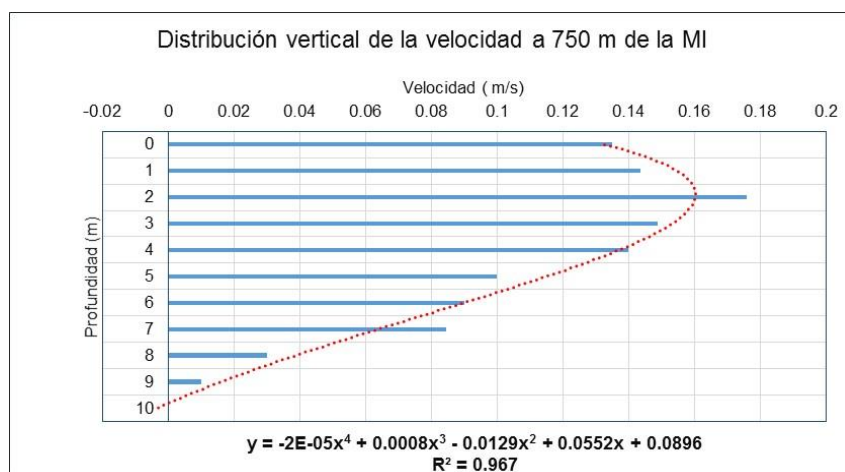


Figura 4-233. Perfil de velocidad vertical punto 750 m de la MI

Fuente. Elaboración propia

La velocidad media para esta sección se ha determinado sobre la base de los valores registrados en cada una de las verticales y a nivel de profundidad, obteniendo la **Figura 4-234**, donde claramente apreciamos como se distribuye el perfil de velocidades y que ha sido ajustado a una expresión algebraica de cuarto grado, donde los mayores valores se tienen en la superficie del agua, con una velocidad de media de 1,08 m/s.

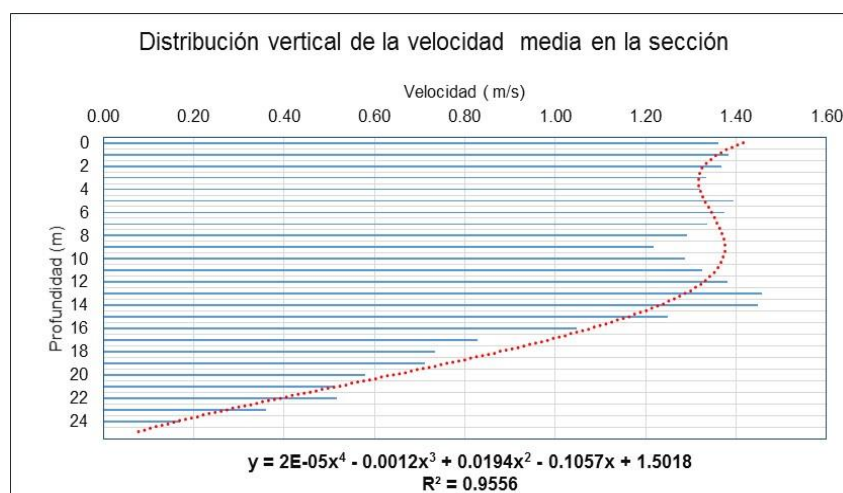


Figura 4-234. Perfil de velocidad vertical media de la sección

Fuente. Elaboración propia

La distribución de la velocidad horizontal del agua a diferentes niveles de profundidades se muestran en la **Figura 4-235**, donde se ha representado los valores a 0,0 m, 8,0 m y 16,0 metros de profundidad; apreciándose claramente como el comportamiento de la velocidad a nivel superficial y sub superficial mantiene la caja hidráulica en toda la sección, por lo cual las líneas de corriente se distribuyen uniformemente, a pesar que las mayores velocidades se presentan en la margen izquierda.

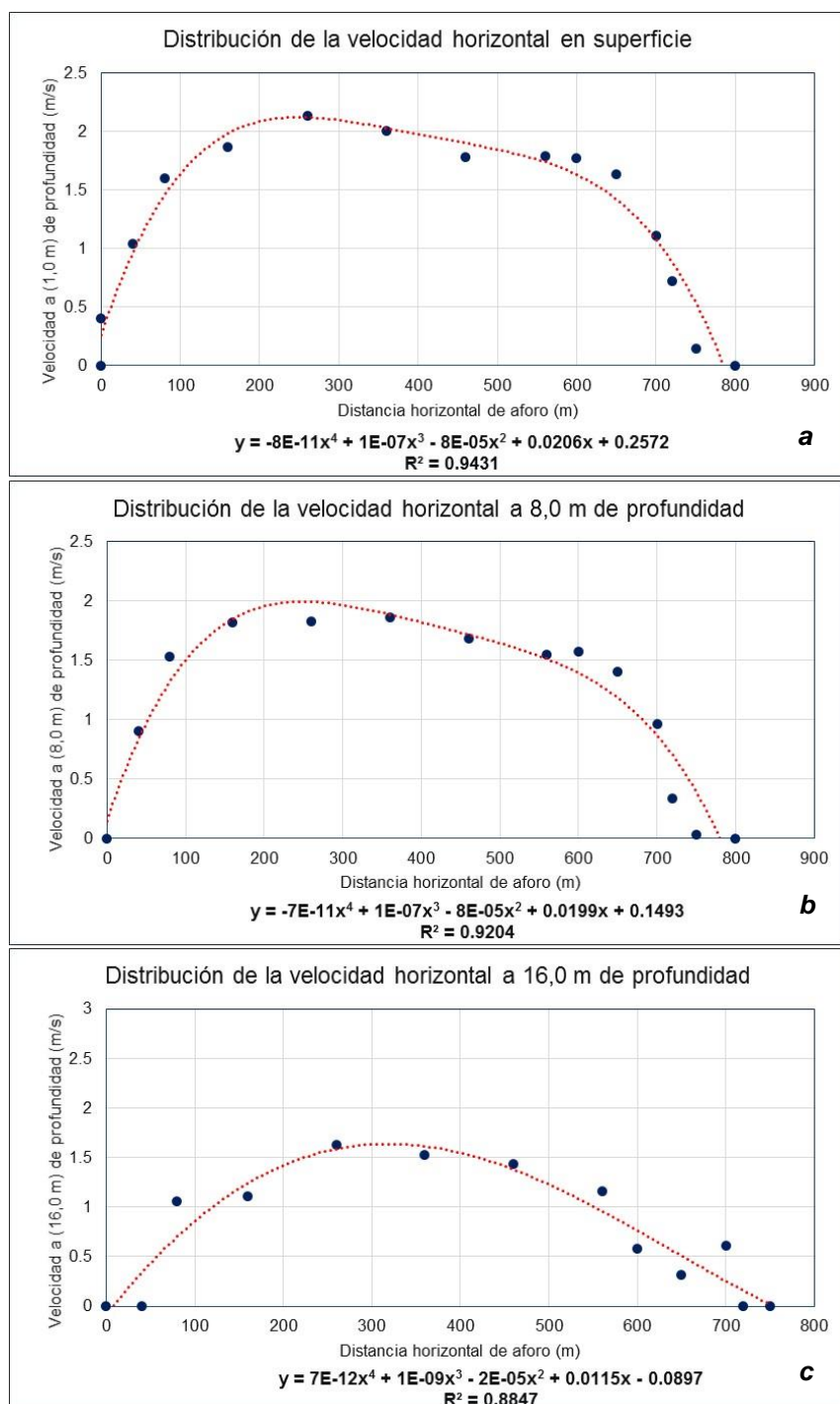


Figura 4-235. Perfil de velocidades horizontales a diferentes profundidades. a) Superficial, b) 8,0 metros y c) 16,0 m de profundidad

Fuente. Elaboración propia

#### 4.5 Perfil de secciones transversales

En esta sección, se procederá a desarrollar los análisis del comportamiento de la distribución de los perfiles de las secciones transversales desde los aforos realizados en los puntos de control en el río Marañón y Huallaga.

Para ello hemos considerado importante definir algunos criterios básicos que nos ayudarán a enmarcar el proceso de análisis y obtener una caracterización del perfil en cada una de las secciones transversales del aforo.

- Se realizará el análisis para los períodos comprendido entre vaciante y creciente
- Se determinará para cada aforo los valores de área, perímetro y radio hidráulico
- Se determinará una sección promedio
- Se desarrollará una regionalización entre los parámetros Área de la sección, Perímetro de la sección y Radio hidráulico, para cada uno de los tramos identificados:
  - Tramo Marañón
  - Tramo Huallaga - Marañón.

En la **Figura 4-236** se muestran la distribución de la cantidad de aforos que se han generado por cada estación, entre las cuales tenemos: San Regis con el 47%, Chazuta con el 28%, Nueva York con el 10% y Picota con el 5% del total.

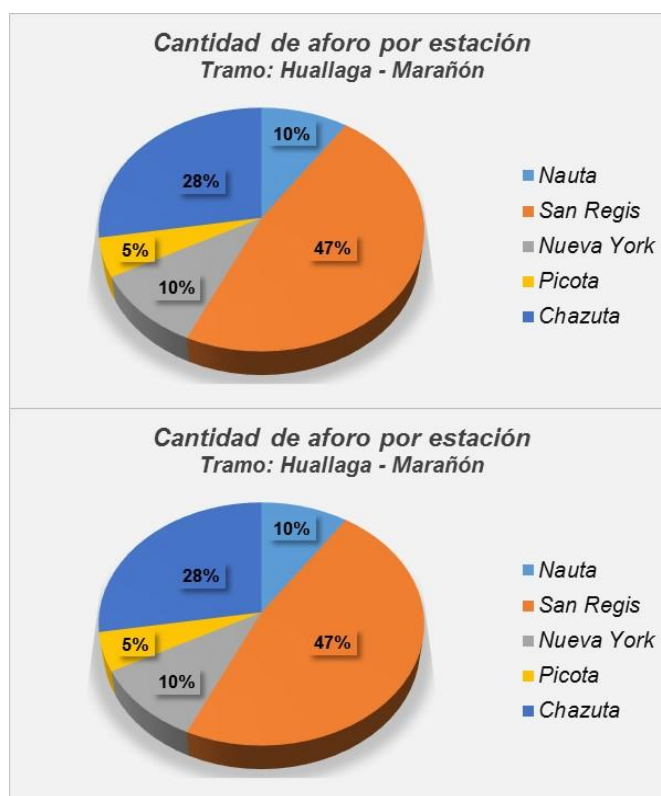


Figura 4-236 Distribución de la cantidad de aforos  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.1 Estación Borja

Se han seleccionada un total de 34 secciones transversales, las cuales se han generado durante el período de vaciante y creciente, que experimenta el río Marañón durante el año hidrológico.

En la **Tabla 4-18**, se muestra las cantidades de secciones transversales para cada uno de los períodos considerados en los análisis.

Tabla 4-18. Secciones transversales en la estación Borja

Período	Total de secciones
Vacante	18
Creciente	26
Total	34

Fuente: elaboración propia

En la **Figura 4-237**, se muestra la distribución del perfil promedio de la sección tanto para el periodo de vaciante como creciente; apreciándose que durante la época de aguas altas, se han utilizado dos secciones hidráulicas diferentes para generar los aforos. Mientras que durante la época de aguas bajas, las secciones hidráulicas muestran cierta similitud que nos indica que es la misma sección.

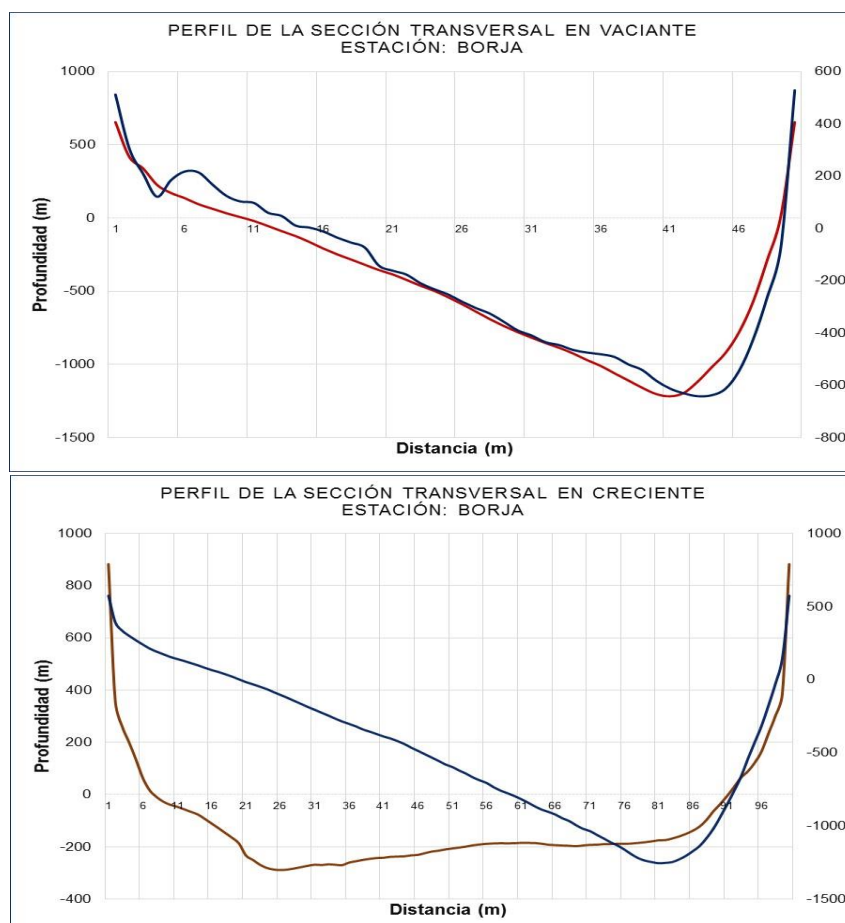


Figura 4-237. Distribución del perfil de la sección de aforo

Fuente: Elaboración propia

#### a) **Periodo de vaciante**

Para este período se trabajó con la sección promedio, la cual fue comparada con cada una de las secciones de aforo realizadas determinando en cada uno de los casos ligeras variaciones en la sección, la cual pueden estar debidas a los siguientes criterios:

- Los aforos no se desarrollaron íntegramente en la misma sección de aforo, por lo cual se prevé que se generen estas discrepancias entre las mismas.
- De ser la misma sección de aforo, las discrepancias que se registran entre las mismas se deben principalmente a mecanismos de erosión o sedimentación que se registra en el río Marañón producto de la dinámica fluvial y de las características hidráulicas del río y pendiente.
- Problemas de calibración del equipo, lo que ha llevado a que los valores registrado por los sensores del ADCP, no logres representar en forma significativa la sección de aforo.

Cada uno de estos criterios fue considerado, con el fin de conocer realmente lo que ha sucedido durante cada una de las campañas de aforo; para ello se muestra en la **Tabla 4-19**, los parámetros hidráulicos de cada una de las secciones aforadas, así como también las secciones promedios.

Tabla 4-19. Parámetros hidráulicos del río Marañón - Estación Borja

Día	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Radio Hidráulico (m)	Hora
24-05-2003	1711.01	635.11	2.69	12:00
30-03-2004	1755.07	662.54	2.65	11:15
17-12-2004	1735.15	657.15	2.64	17:00
18-12-2004	1787.16	677.00	2.64	8:30
23-04-2005	1681.31	653.70	2.57	15:00
03-11-2007	1310.68	550.86	2.38	16:20
03-11-2007	968.94	497.07	1.95	17:00
03-12-2007	1086.20	490.01	2.22	9:30
Promedio 1	1660.49	637.61	2.60	
Promedio 2	1050.67	493.43	2.13	

En el análisis comparativo entre las secciones y su promedio, se ha obtenido valores positivos (erosión) y negativos (colmatación) cuyos rangos son los siguientes:

- Con relación al promedio 1
  - Área de la sección: las discrepancias oscilan entre -34,6 % y 7,6%
  - Perímetro de la sección: las discrepancias oscilan entre -23,1% y 6,2%
  - Radio hidráulico: las discrepancias oscilan entre -14,9% y 3,4%
- Con relación al promedio 2
  - Área de la sección: las discrepancias oscilan entre -7,8 % y 70,1%
  - Perímetro de la sección: las discrepancias oscilan entre -0,7% y 37,2%
  - Radio hidráulico: las discrepancias oscilan entre -8,5% y 26,5%



En la **Figura 4-238**, se muestra el análisis comparativo de las secciones transversales de aforo para el período apreciándose claramente las variabilidad entre los primeros 6 aforos con su promedio 1 (línea roja) y los dos últimos realizados con su promedio 2 (línea azul oscuro).

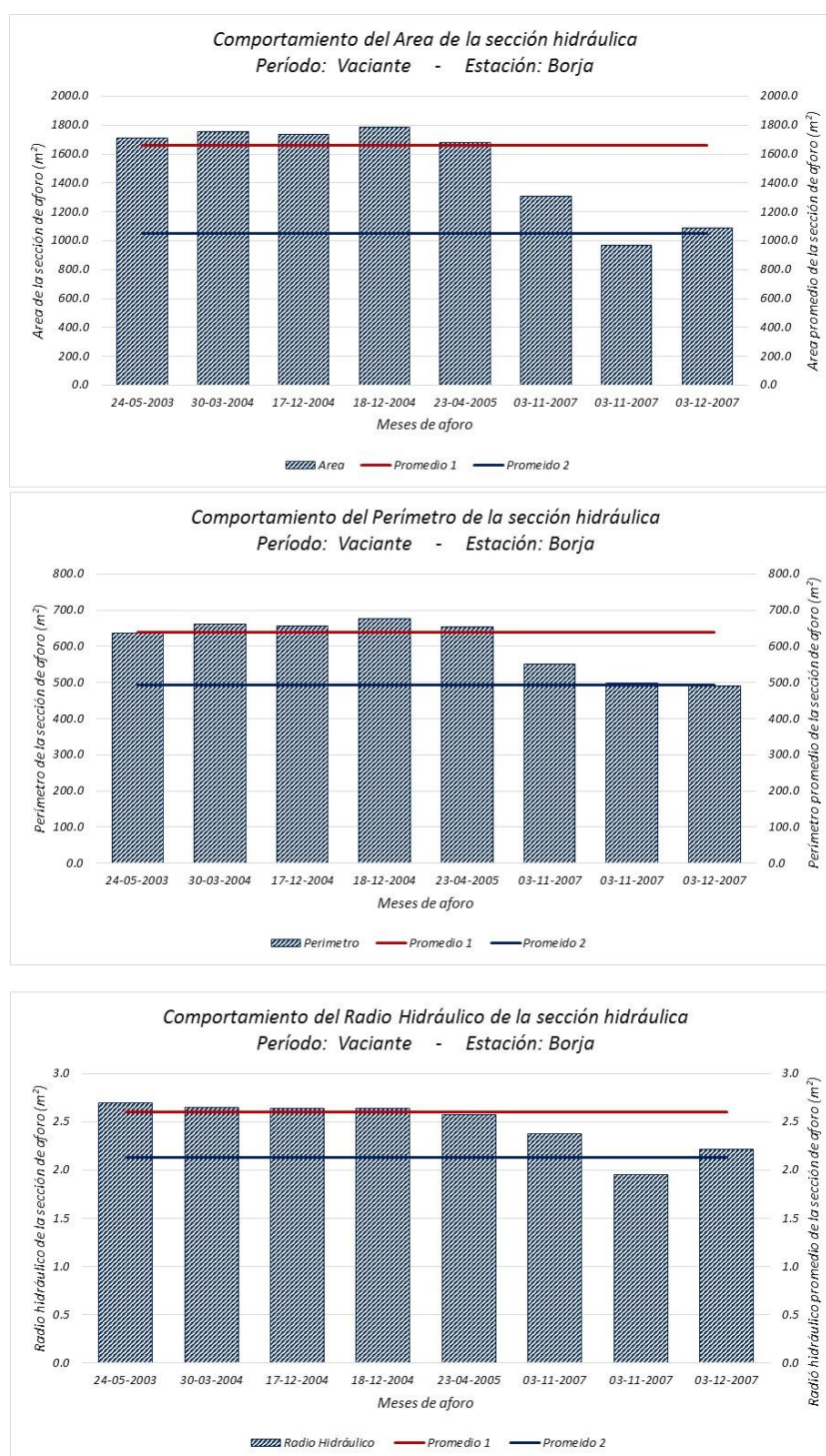


Figura 4-238. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio  
Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-239**, apreciamos el análisis comparativo de las secciones de aforo con sus respectivos valores promedios, encontrándose en cada uno de ellos una similitud en la forma de la sección hidráulica; lo que nos lleva a conocer la característica de la caja hidráulica, que en



este caso tiene una fuerte orientación hacia una de las márgenes del río, donde se presentan las mayores profundidades.

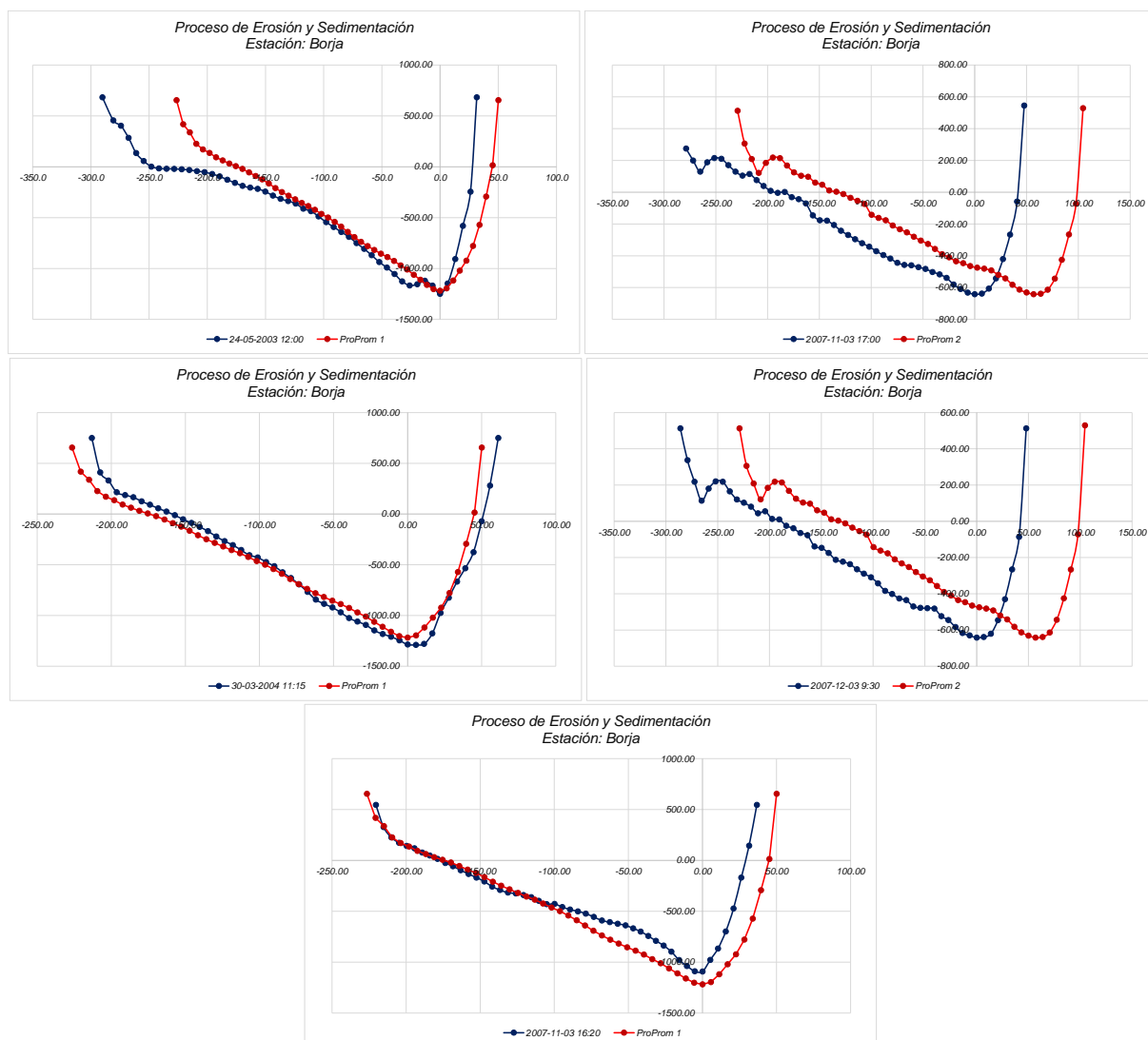


Figura 4-239. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo  
Fuente. Elaboración propia

A nivel de la superficie de la sección, se muestran variaciones significativas en relación a sus promedios, lo que nos lleva a concluir que:

- La dinámica de la hidráulica fluvial del río Marañón experimenta cambios significativos por procesos de erosión y sedimentación.
- Se ha detectado que los aforos realizados en su mayoría se han realizado aproximadamente en la misma sección de aforos; mientras que en otras se nota claramente un desfase de las secciones.
- Toda la carga hidráulica que registra el río Marañón en la estación de Borja, está centrada hacia una de las márgenes

### **b) *Periodo de creciente***

Para este período de aguas altas, se trabajó con la sección hidráulica promedio, la cual fue comparada con cada una de las secciones de aforo; determinándose en cada uno de los casos ligeras variaciones, la cual pueden estar debidas a los siguientes criterios:

- Los aforos no se desarrollaron íntegramente en la misma sección de aforo, por lo cual se prevé que se generen estas discrepancias entre las mismas.
- De ser la misma sección de aforo, las discrepancias que se registran entre las mismas se deben principalmente a mecanismos de erosión o sedimentación que se registra en el río Marañón producto de la dinámica fluvial y de las características hidráulicas del río y pendiente.
- Problemas de calibración del equipo, lo que ha llevado a que los valores registrado por los sensores del ADCP, no logres representar en forma significativa la sección de aforo.

Cada uno de estos criterios fue considerado, con el fin de conocer realmente lo que ha sucedido durante cada una de las campañas de aforo; para ello se muestra en la **Tabla 4-20**, los parámetros hidráulicos de cada una de las secciones aforadas, así como también las secciones promedios, obtenidas en base a las características del caudal obtenido.

En el análisis comparativo entre cada una de las secciones y su correspondiente promedio, se han obtenido valores positivos (erosión) y negativos (colmatación) cuyos rangos son los siguientes:

- Con relación al promedio 1
  - Área de la sección: las discrepancias oscilan entre -47,4 % y 16,0%
  - Perímetro de la sección: las discrepancias oscilan entre -51,6% y 15,0%
  - Radio hidráulico: las discrepancias oscilan entre -10,0% y 29,0%
- Con relación al promedio 2
  - Área de la sección: las discrepancias oscilan entre -18,7 % y 79,2%
  - Perímetro de la sección: las discrepancias oscilan entre -16,4% y 98,8%
  - Radio hidráulico: las discrepancias oscilan entre -20,7% y 18,2%
- Con relación al promedio 3
  - Área de la sección: las discrepancias oscilan entre -7,1 % y 104,6%
  - Perímetro de la sección: las discrepancias oscilan entre -6,1% y 123,3%
  - Radio hidráulico: las discrepancias oscilan entre -19,3% y 20,2%

En la **Figura 4-240**, se muestra el análisis comparativo de las secciones transversales generadas por lo aforos, durante el período comprendido entre 2003 / 2015; apreciándose claramente un comportamiento variable que ha permitido seccionar la serie en tres grupos, los cuales están representados por su correspondiente promedio (línea roja, línea azul oscuro y línea morada).

Tabla 4-20. Parámetros hidráulicos del río Marañón - Estación Borja

Día	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Radio Hidráulico	Hora
08-03-2003	1039.76	789.27	1.32	14:15
29-03-2004	1788.41	1233.12	1.45	16:30
13-04-2005	1815.17	1233.90	1.47	15:30
22-07-2005	1738.49	1208.91	1.44	8:30
23-07-2005	1689.44	1218.71	1.39	10:15
13-10-2005	1300.27	996.99	1.30	14:30
19-03-2006	1796.87	1274.73	1.41	15:45
29-08-2006	1363.48	1135.41	1.20	18:00
02-05-2008	1585.59	1339.05	1.18	12:30
05-03-2008	1672.47	1349.85	1.24	8:00
23-09-2008	1544.87	1206.59	1.28	7:40
25-04-2009	1800.06	1020.62	1.76	13:55
27-02-2010	1079.90	641.45	1.68	14:25
23-03-2010	1161.88	675.63	1.72	15:20
12-10-2010	1360.81	792.79	1.72	11:20
12-12-2010	1363.66	792.79	1.72	11:30
12-10-2010	1360.81	792.79	1.72	11:40
17-06-2011	914.60	595.38	1.54	11:40
04-06-2012	906.16	579.84	1.56	15:00
24-07-2013	1102.44	654.59	1.68	17:00
18-09-2014	962.36	617.10	1.56	14:30
02-02-2015	891.00	582.44	1.53	17:00
02-03-2015	904.99	582.55	1.55	10:30
02-03-2015	889.35	580.98	1.53	16:30
02-05-2015	823.94	567.57	1.45	13:00
02-05-2015	868.28	573.86	1.51	16:00
Promedio 1	1565.16	1173.52	1.33	
Promedio 2	1013.12	678.9	1.49	
Promedio 3	887.08	604.62	1.47	

Fuente. Elaboración propia

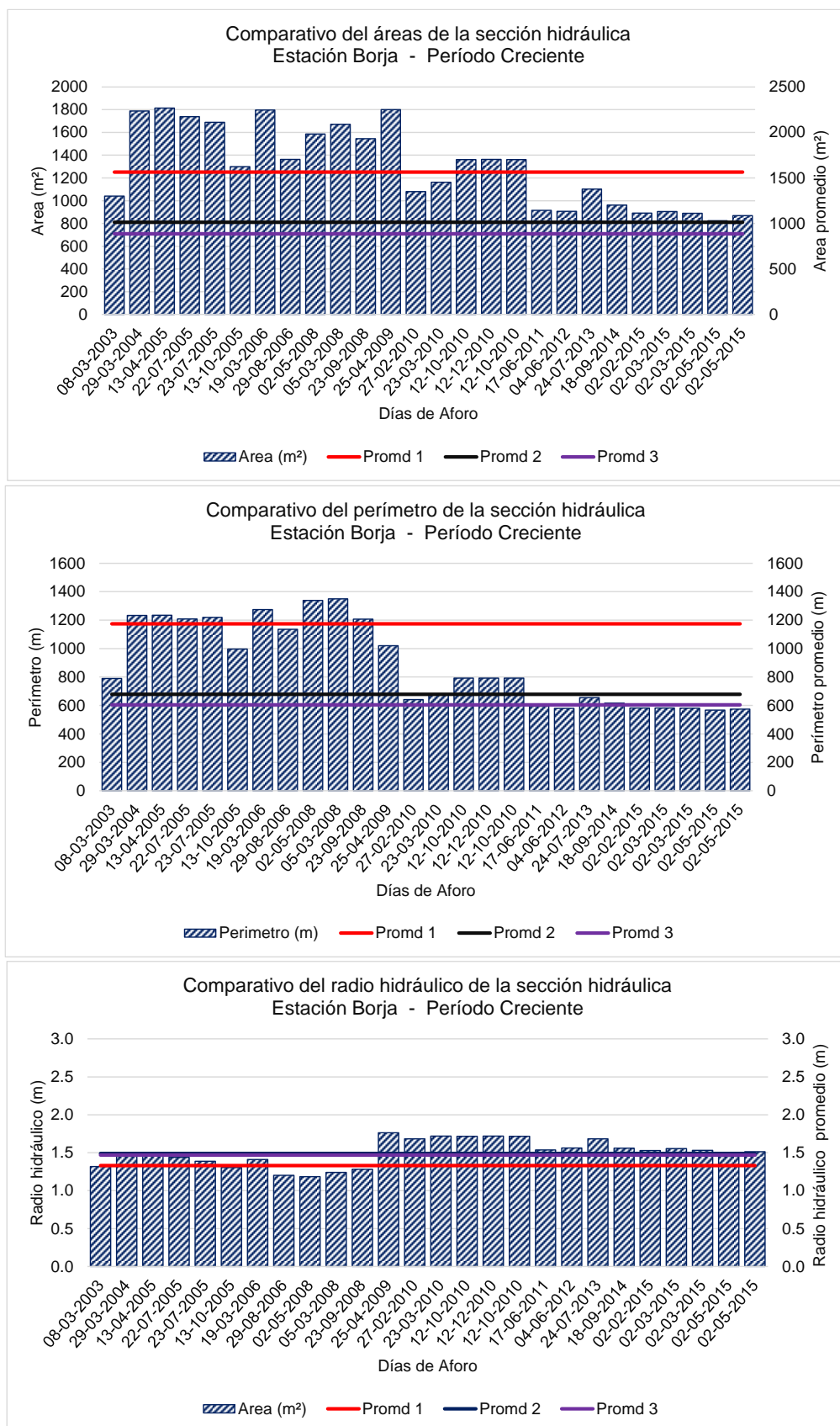


Figura 4-240. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-241**, apreciamos el análisis comparativo de las secciones de aforo con sus respectivos valores promedios, apreciando que durante el proceso de aforo se han utilizado dios tipos de sección hidráulicas una en forma rectangular y otra de tipo triangular. En cada uno de ellos apreciamos ciertos niveles de discrepancias que pueden estar asociadas a procesos de erosión y colmatación o a errores sistemáticos de calibración de equipo o piloteo de la embarcación.

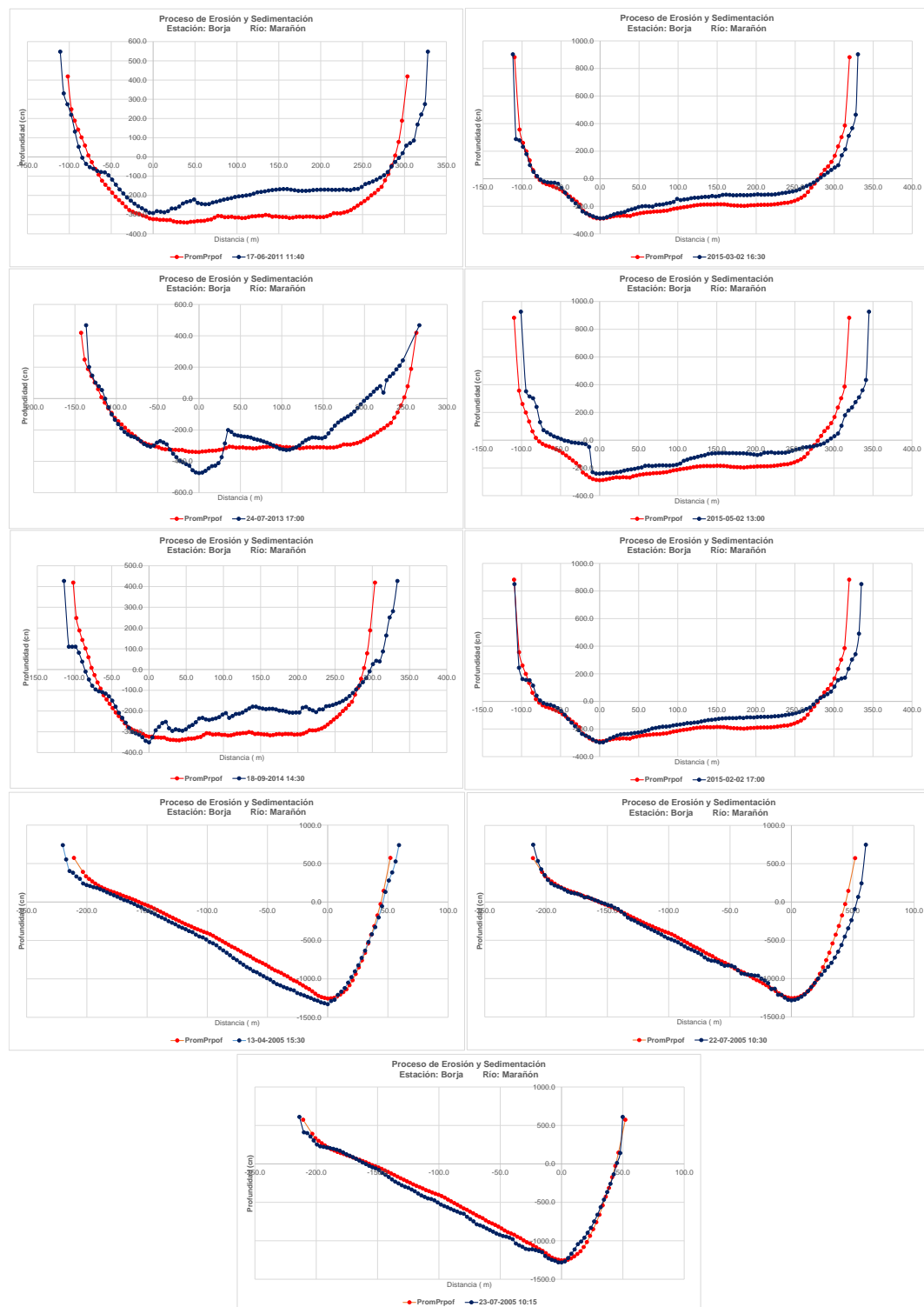


Figura 4-241. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo  
Fuente. Elaboración propia

Para ambas secciones analizadas, la forma de la caja hidráulica se mantiene invariante en el tiempo; sin embargo, lo que apreciamos son desfase en las secciones a la hora de realizar las comparaciones, tanto en el fondo del cauce del río como en las paredes laterales de la sección. Entre los errores sistemáticos que podemos considerar los cambios de velocidad en la embarcación, a la hora de realizar el aforo, ya que la trayectoria desde una margen hacia la otra no registra una línea recta continua en el tiempo, tal como se aprecia en las **Figuras 4-242**, donde se muestran la dirección de recorrido del bote para ambas secciones analizadas, la de forma triangular para las dos primeras, que son las más homogéneas y las dos subsiguientes de tipo rectangular, donde se muestran más dispersiones.

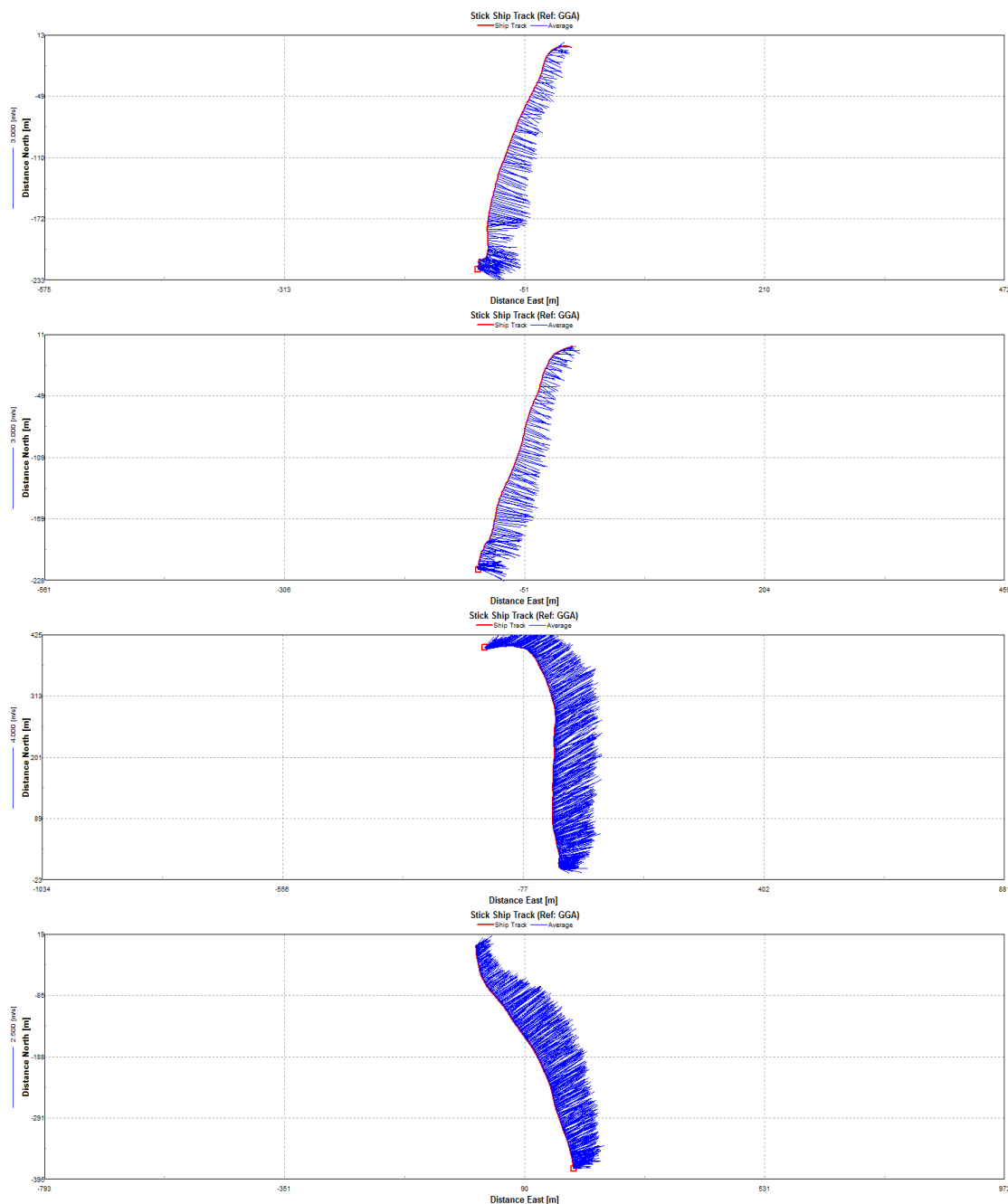


Figura 4-242. Perfiles de velocidad superficial del bote, en el momento del aforo  
Fuente. Elaboración propia

#### 4.5.2 Estación Chazuta

Se han seleccionada un total de 32 secciones transversales, las cuales se han generado en las campañas de aforo realizadas durante el período de vaciante y creciente, que experimenta el río Huallaga durante el año hidrológico.

En la **Tabla 4-21**, se muestra las cantidades de secciones transversales para cada uno de los períodos considerados en los análisis.

Tabla 4-21. Secciones hidráulicas – estación Chazuta

Período	Total de secciones
Vaciante	09
Creciente	23
Total	32

Fuente: elaboración propia

En la **Figura 4-243**, se muestra la distribución del perfil promedio de las secciones tanto para el periodo de vaciante como creciente; apreciándose que durante la época de aguas altas, se han utilizado dos secciones hidráulicas ligeramente diferentes para generar los aforos. Mientras que durante la época de aguas bajas, la sección hidráulica ha sido la misma durante todas la campaña.

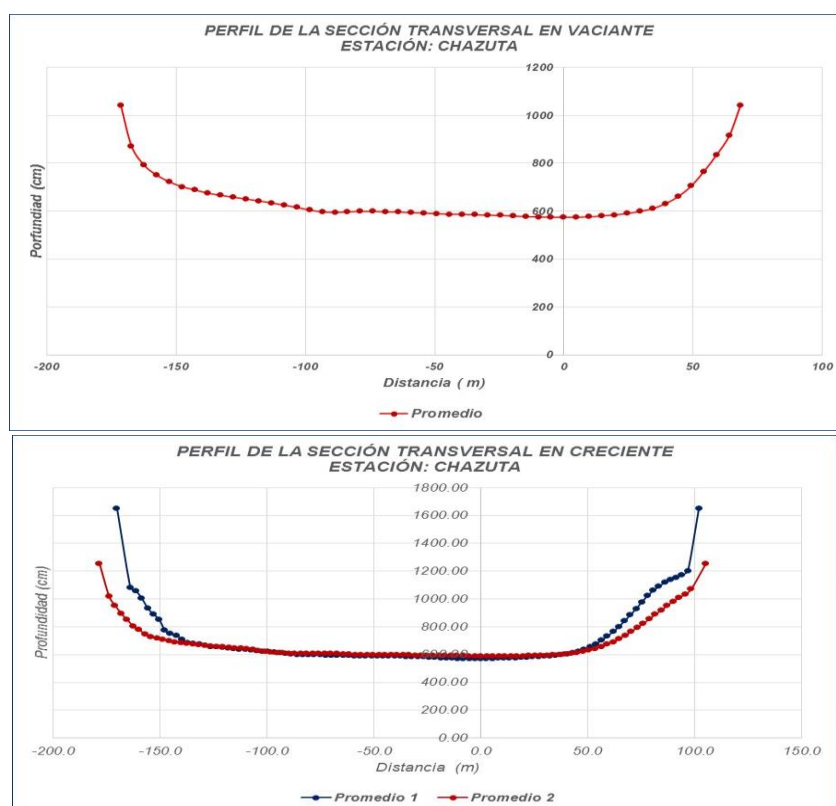


Figura 4-243. Distribución del perfil de la sección de aforo

Fuente: Elaboración propia



### c) *Periodo de vaciante*

Para este período se trabajó con la sección promedio, la cual fue comparada con cada una de las secciones de aforo realizadas determinando en cada uno de los casos ligeras variaciones en la sección, la cual pueden estar debidas a los siguientes criterios:

- Los aforos no se desarrollaron íntegramente en la misma sección de aforo, por lo cual se prevé que se generen estas discrepancias entre las mismas.
- De ser la misma sección de aforo, las discrepancias que se registran entre las mismas se deben principalmente a mecanismos de erosión o sedimentación que se registra en el río Huallaga producto de la dinámica fluvial y de las características hidráulicas del río y pendiente.
- Problemas de calibración del equipo, lo que ha llevado a que los valores registrado por los sensores del ADCP, no logres representar en forma significativa la sección de aforo.

Cada uno de estos criterios fue considerado, con el fin de conocer realmente lo que ha sucedido durante cada una de las campañas de aforo; para ello se muestra en la **Tabla 4-22**, los parámetros hidráulicos de cada una de las secciones aforadas, así como también las secciones promedios.

Tabla 4-22. Parámetros hidráulicos del río Huallaga - Estación Chazuta

Día	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Radio Hidráulico (m)	Hora
30-07-2003	792.64	345.12	2.29	09:00
30-07-2003	1777.22	513.36	3.46	10:00
24-10-2003	1782.88	506.97	3.52	17:30
14-07-2005	1806.59	519.02	3.48	13:00
27-07-2006	1766.03	509.39	3.47	13:30
16-02-2007	2194.46	581.79	3.77	10:30
14-07-2007	1817.73	518.64	3.50	13:20
01-01-2008	2219.57	578.43	3.84	14:00
12-07-2010	2317.10	570.42	4.06	10:00
Promedio 1	1790.06	513.45	3.49	

En el análisis comparativo entre las secciones y su promedio, se ha obtenido valores positivos (erosión) y negativos (colmatación) cuyos rangos son los siguientes:

- Con relación al promedio 1
  - Área de la sección: las discrepancias oscilan entre -55,7 % y 29,4%
  - Perímetro de la sección: las discrepancias oscilan entre -32,8% y 13,3%
  - Radio hidráulico: las discrepancias oscilan entre -34,4% y 16,3%

En la **Figura 4-244**, se muestra el análisis comparativo de las secciones transversales de aforo para el período seleccionado, apreciándose claramente una variabilidad con relación al primer

aforo; sin embargo, para los demás se nota una uniformidad en la serie analizada con relación a su promedio 1 (línea roja), proceso que se da para cada una de las variables hidráulicas consideradas. En la serie se puede apreciar una uniformidad en los tres parámetros para el período comprendido entre 2003 / 2007, para luego experimentar un incremento.

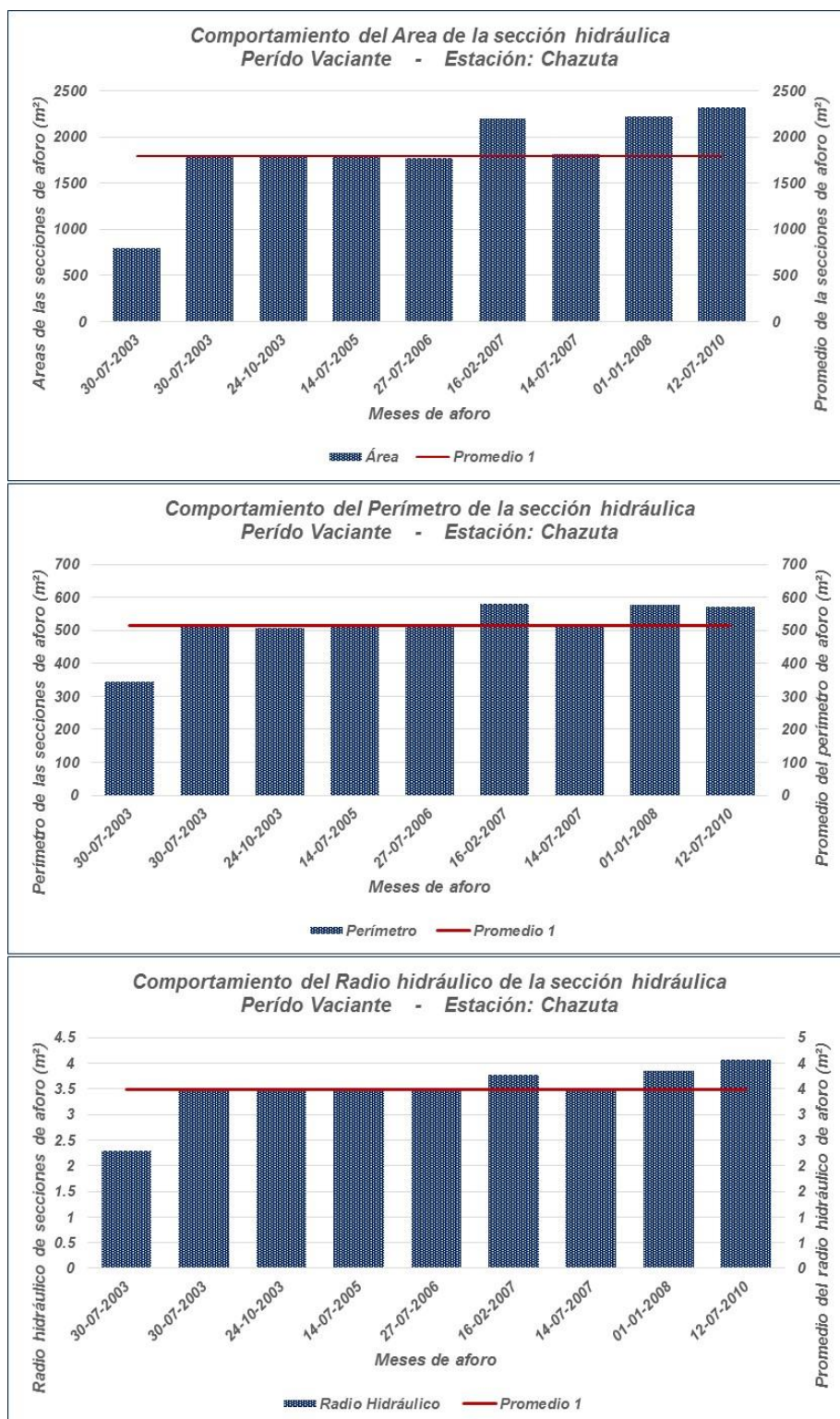


Figura 4-244. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-245**, apreciamos el análisis comparativo de las secciones de aforo con su respectivo promedio, encontrándose en cada uno de ellos una similitud en la forma de la sección hidráulica; lo que nos lleva a conocer la característica de la caja hidráulica, que para este caso tiene la forma rectangular. Se aprecia que tanto en la margen derecha como izquierda presenta ciertas discrepancias que pudieran estar sujetas a procesos de erosión.

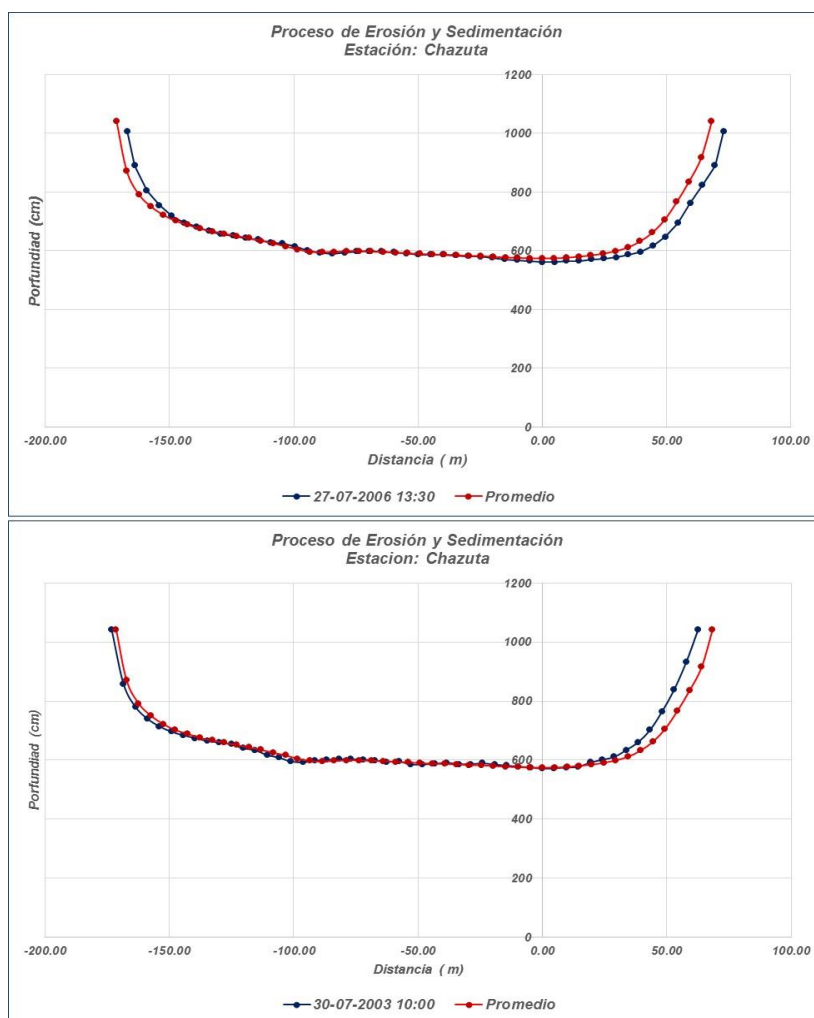


Figura 4-245. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo  
Fuente. Elaboración propia

Esto nos llevaría a generar algunas conclusiones sobre la representatividad de la sección de aforo, tales como:

- La dinámica de la hidráulica fluvial del río Huallaga experimenta cambios por procesos de erosión y sedimentación, especialmente en sus laderas.
- Se ha detectado que los aforos realizados en su mayoría se han generado en la misma sección de aforos; lo que nos lleva a tener más clara la idea de los procesos a los que está sujeto la caja hidráulica del río.
- Toda la carga hidráulica que registra el río Huallaga en la estación de Chazuta, es uniforme en su sección de margen a margen; caracterizándose por presentar una forma rectangular.

#### **d) *Período de creciente***

Para este período de aguas altas, se trabajó con la sección hidráulica promedio, la cual fue comparada con cada una de las secciones de aforo; determinándose en cada uno de los casos ligeras variaciones, la cual pueden estar debidas a los siguientes criterios:

- Los aforos no se desarrollaron íntegramente en la misma sección de aforo, por lo cual se prevé que se generen estas discrepancias entre las mismas.
- De ser la misma sección de aforo, las discrepancias que se registran entre las mismas se deben principalmente a mecanismos de erosión o sedimentación que se registra en el río Huallaga producto de la dinámica fluvial y de las características hidráulicas del río y pendiente.
- Problemas de calibración del equipo, lo que ha llevado a que los valores registrado por los sensores del ADCP, no logres representar en forma significativa la sección de aforo.

Cada uno de estos criterios fue considerado, con el fin de conocer realmente lo que ha sucedido durante cada una de las campañas de aforo; para ello se muestra en la **Tabla 4-23**, los parámetros hidráulicos de cada una de las secciones aforadas, así como también las secciones promedios, obtenidas en base a las características del caudal obtenido. En el análisis comparativo entre cada una de las secciones y su correspondiente promedio, se han obtenido valores positivos (erosión) y negativos (colmatación) cuyos rangos son los siguientes:

- Con relación al promedio 1
  - Área de la sección: las discrepancias oscilan entre -20,44 % y 3,02%
  - Perímetro de la sección: las discrepancias oscilan entre -2,76% y 20,25%
  - Radio hidráulico: las discrepancias oscilan entre -20,20% y 2,02%
- Con relación al promedio 2
  - Área de la sección: las discrepancias oscilan entre -11,80 % y 14,20%
  - Perímetro de la sección: las discrepancias oscilan entre -4,93% y 24,40%
  - Radio hidráulico: las discrepancias oscilan entre -14,59% y 9,19%

En la **Figura 4-246**, se muestra la comparación de las secciones transversales generadas por los aforos, durante el período comprendido entre 2003 / 2015; apreciándose claramente un comportamiento variable que ha permitido seccionar la serie en dos grupos, los cuales están representados por su correspondiente promedios (línea roja, línea celeste), permitiendo de esta manera tener una idea clara de cómo es la variabilidad de cada una de los parámetros hidráulicos de la sección de aforo.

En la **Figura 4-247**, apreciamos el análisis comparativo de las secciones de aforo con sus respectivos promedios, apreciando que durante el proceso de aforo se ha utilizado una sola sección hidráulica de tipo rectangular. La escala temporal de análisis nos muestra cómo va fluctuando los valores de los caudales y por ende la caja hidráulica de la sección del río; es importante resalta aquí, que los mayores aforos fueron realizados durante la mañana en el horario comprendido entre las 08:00 horas y las 12:00 horas.

Tabla 4-23. Parámetros hidráulicos del río Huallaga - Estación Chazuta

Día	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Radio Hidráulico	Hora
04-09-2005	2227.65	1185.42	1.88	15:30
18-02-2006	2168.63	1137.67	1.91	16:00
01-01-2008	2218.91	1163.29	1.91	13:30
19-09-2008	1973.02	1075.24	1.83	11:00
22-04-2009	2311.91	1199.16	1.93	12:10
03-03-2010	2259.26	1165.11	1.94	09:40
03-03-2010	2219.59	1406.92	1.58	10:00
27-07-2010	1840.39	1087.21	1.69	11:30
14-12-2010	2002.25	1099.63	1.82	09:10
14-12-2010	2002.25	1099.63	1.82	09:20
14-12-2010	2002.25	1099.63	1.82	09:30
20-06-2011	1917.62	1102.86	1.74	10:10
04-09-2012	2376.73	1182.25	2.01	12:00
02-08-2013	2314.58	1165.06	1.99	17:00
02-09-2013	2241.83	1148.68	1.95	11:00
02-09-2014	2194.91	1176.10	1.87	14:00
19-01-2015	2157.03	1155.28	1.87	10:45
22-01-2015	2230.54	1174.35	1.90	16:00
22-01-2015	2285.92	1166.96	1.96	18:00
23-01-2015	2309.48	1166.46	1.98	18:00
24-01-2015	2380.87	1192.55	2.00	08:00
24-01-2015	2353.17	1165.66	2.02	10:30
24-01-2015	2382.98	1179.07	2.02	13:30
Promedio 1	2313.19	1170.00	1.98	
Promedio 2	2086.61	1130.94	1.85	

Fuente. Elaboración propia



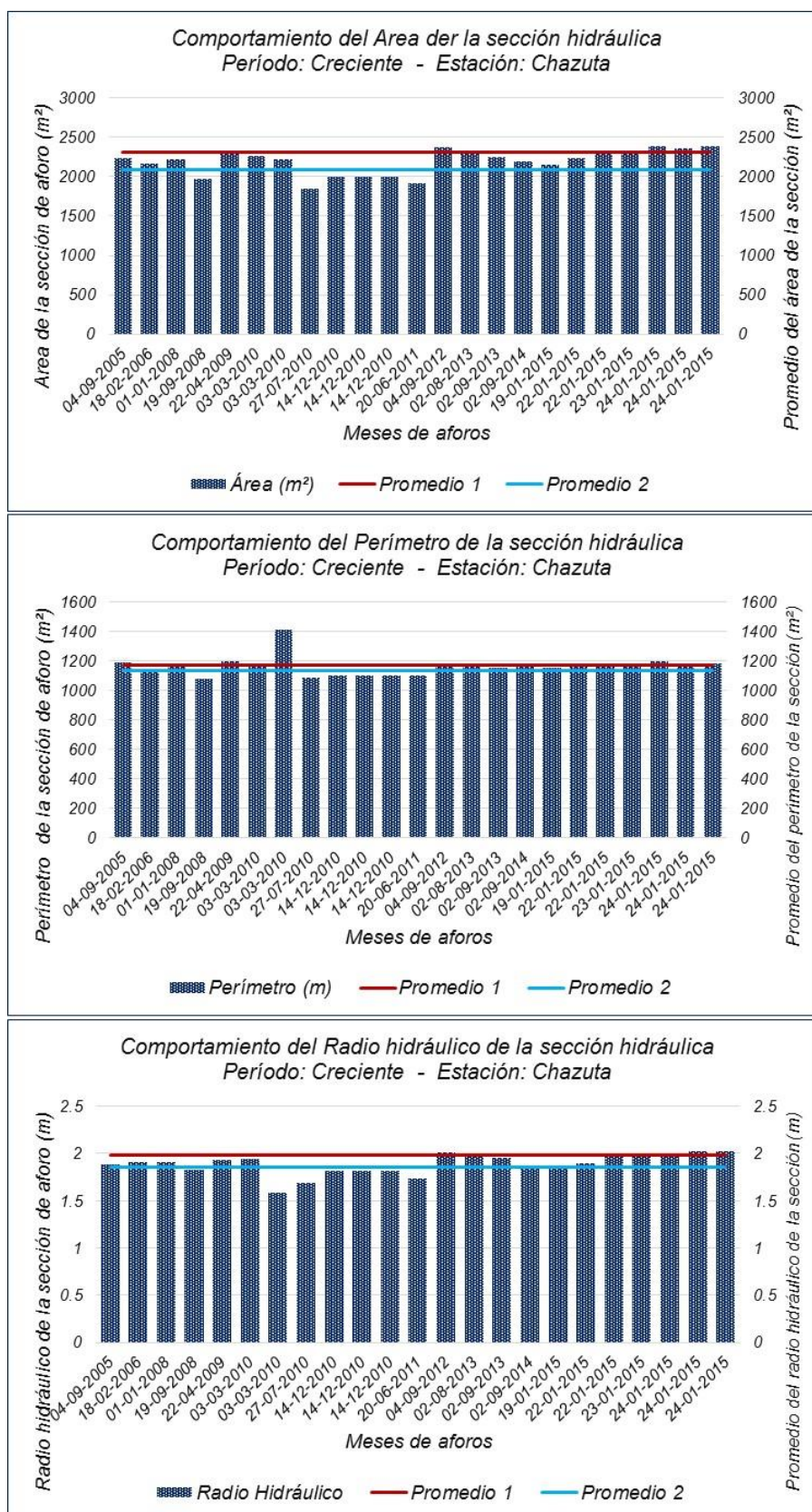


Figura 4-246. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio

Fuente. Elaboración propia

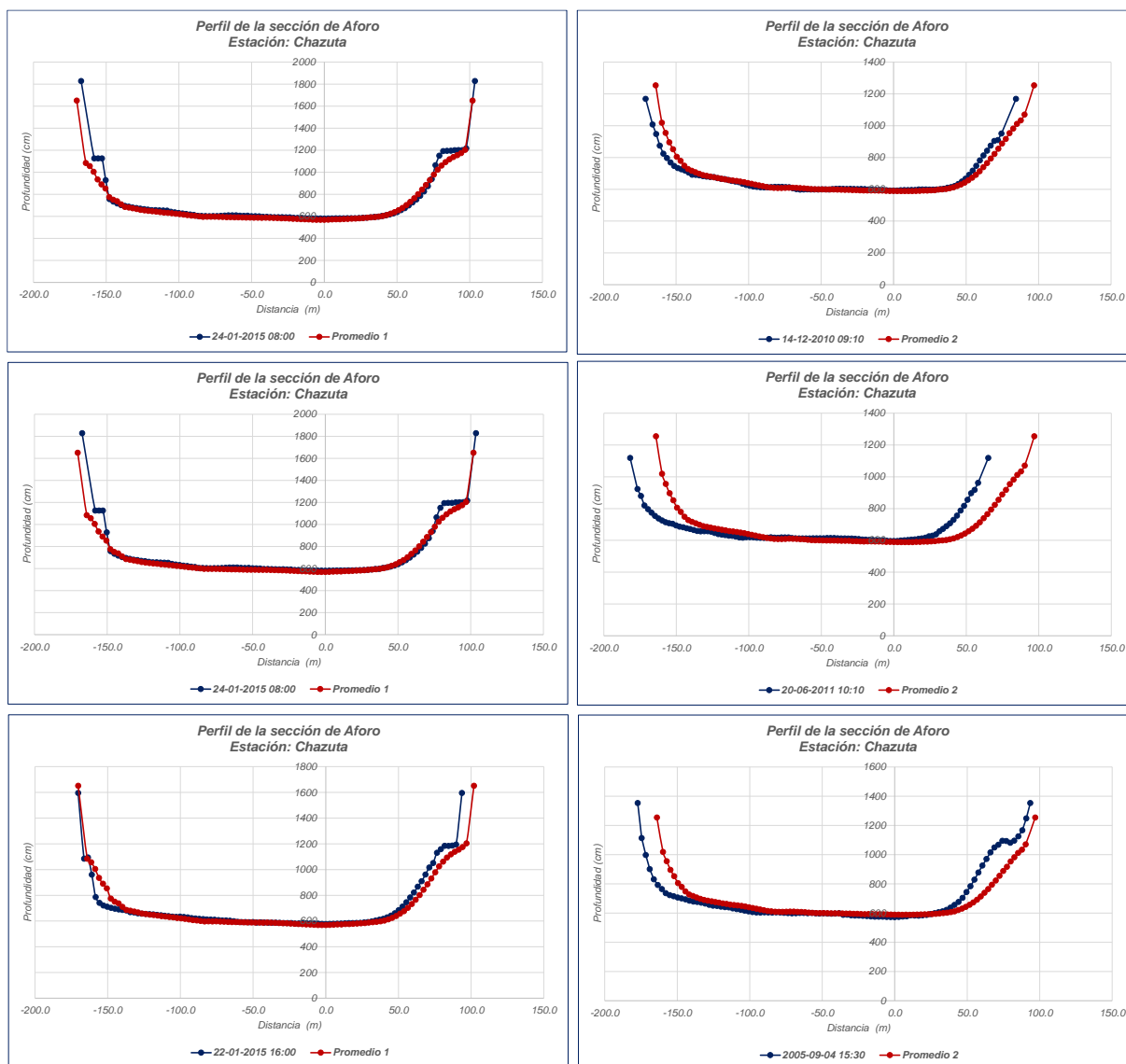


Figura 4-247. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo

Fuente. Elaboración propia

Para ambas secciones analizadas, la forma de la caja hidráulica se mantiene invariante en el tiempo; sin embargo, lo que apreciamos son desfase en las secciones a la hora de realizar las comparaciones, especialmente en las márgenes derecha e izquierda de la sección.

Entre los errores sistemáticos, podemos considerar los cambios de la dirección de la velocidad en la embarcación, a la hora de realizar el aforo, ya que la trayectoria desde una margen hacia la otra no registra una línea recta continua en el tiempo, tal como se aprecia en las **Figuras 2-48**, donde se muestran la dirección de recorrido del bote para ambas secciones analizadas, donde en algunas se logra mantener la perpendicularidad del transecto pero en otros casos no es así, como se muestra en para los años 2005, 2007, 20010 y 2013 respectivamente.



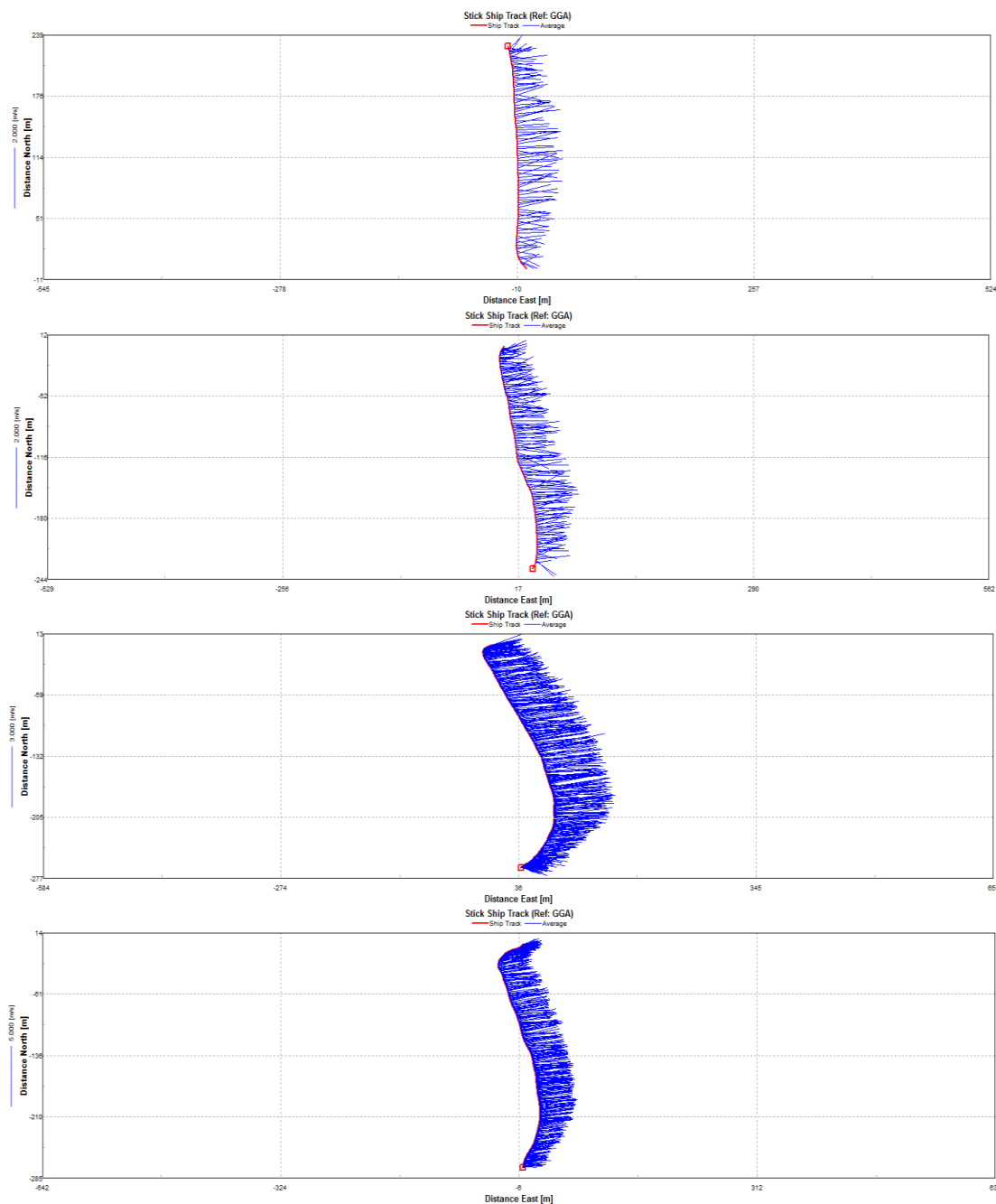


Figura 4-248. Perfiles de velocidad superficial del bote, en el momento del aforo  
Fuente. Elaboración propia

#### 4.5.3 Estación Picota

Se han seleccionada un total de 06 secciones transversales, las cuales se han generado durante el período de vaciante y creciente, que experimenta el río Huallaga durante el año hidrológico.

En la **Tabla 4-24**, se muestra las cantidades de secciones transversales para cada uno de los períodos considerados en los análisis.

Tabla 4-24. Secciones hidráulicas – estación Picota

Período	Total de secciones
Vacante	05
Creciente	01
Total	06

Fuente: elaboración propia

En la **Figura 4-249**, se muestra la distribución del perfil promedio de la sección tanto para el periodo de vaciante como creciente; apreciándose que durante ambas épocas la sección hidráulica se mantiene invariante en el tiempo y solo se refleja los incrementos en los niveles de agua y por ende en el caudal del río.

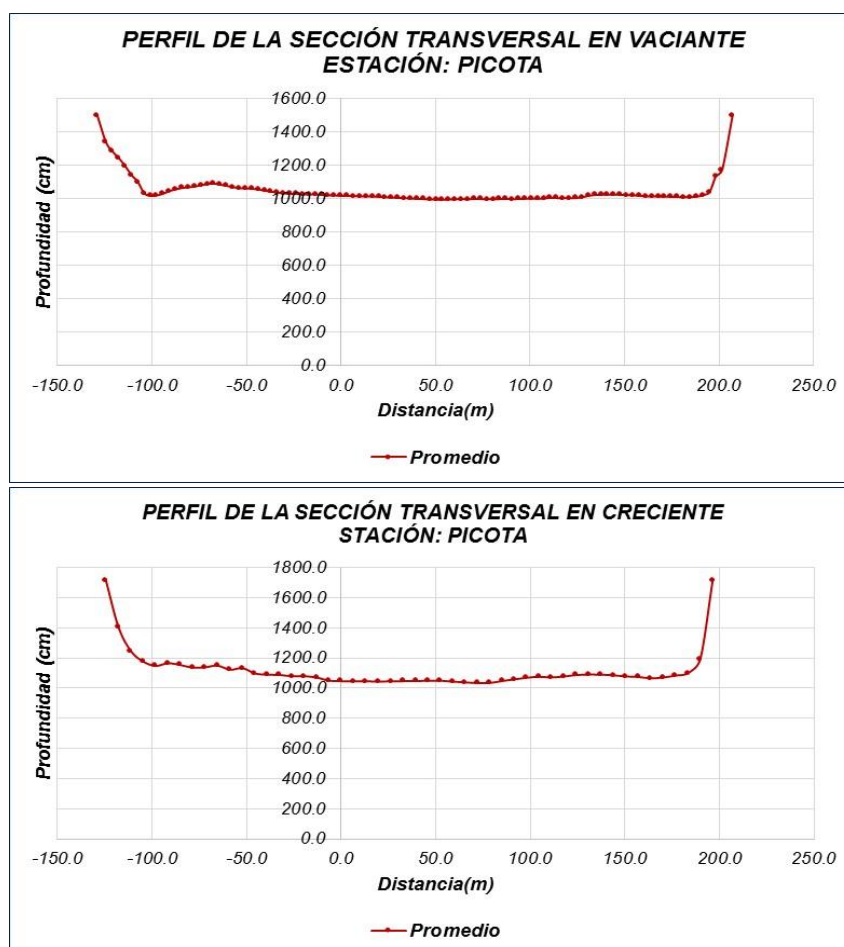


Figura 4-249. Distribución del perfil de la sección de aforo

Fuente: Elaboración propia

#### a) **Periodo de vaciante y creciente**

Para este período se trabajó con la sección promedio, la cual fue comparada con cada una de las secciones de aforo realizadas determinando en cada uno de los casos ligeras variaciones en la sección, la cual pueden estar debidas a los siguientes criterios:

- Los aforos no se desarrollaron íntegramente en la misma sección de aforo, por lo cual se prevé que se generen estas discrepancias entre las mismas.
- De ser la misma sección de aforo, las discrepancias que se registran entre las mismas se deben principalmente a mecanismos de erosión o sedimentación que se registra en el río Huallaga producto de la dinámica fluvial y de las características hidráulicas del río y pendiente.
- Problemas de calibración del equipo, lo que ha llevado a que los valores registrado por los sensores del ADCP, no logres representar en forma significativa la sección de aforo.

Cada uno de estos criterios fue considerado, con el fin de conocer realmente lo que ha sucedido durante cada una de las campañas de aforo; para ello se muestra en la **Tabla 4-25**, los parámetros hidráulicos de cada una de las secciones aforadas, así como también la sección promedio.

Tabla 4-25 Parámetros hidráulicos del río Huallaga - Estación Picota

Día	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Radio Hidráulico (m)	Hora
21-05-2003	2816.44	299.45	9.41	18:20
23-02-2010	3825.94	374.17	10.23	16:30
26-06-2010	3469.09	389.83	8.90	15:30
12-06-2010	3872.10	364.81	10.61	16:30
12-06-2010	3872.10	364.81	10.61	17:30
21-06-2011	4244.65	393.53	10.79	12:00
Promedio 1	3849.74	385.32	9.99	

En el análisis comparativo entre las secciones y su promedio, se ha obtenido valores positivos (erosión) y negativos (colmatación) cuyos rangos son los siguientes:

- Con relación al promedio 1
  - Área de la sección: las discrepancias oscilan entre -26,84 % y 10,26%
  - Perímetro de la sección: las discrepancias oscilan entre -22,89% y 2,13%
  - Radio hidráulico: las discrepancias oscilan entre -10,91% y 8,01%

En la **Figura 4-250**, se muestra el análisis comparativo de los parámetros hidráulicos de la sección con sus correspondientes promedios, observándose que en términos generales, la sección de aforo es la misma y presentan las características de ser estable en su caja hidráulica, la cual tiene la forma rectangular.



Figura 4-250. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio  
Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-251**, apreciamos el análisis comparativo de las secciones de aforo con su valor promedio, encontrándose en cada uno de ellos una similitud en la forma de la sección hidráulica; lo que nos lleva a conocer la característica de la caja hidráulica, la cual se caracteriza por presentar una forma rectangular; sin embargo, se aprecia cierto niveles de discrepancia entre ellas, pudiendo ser las causas principales las siguientes:

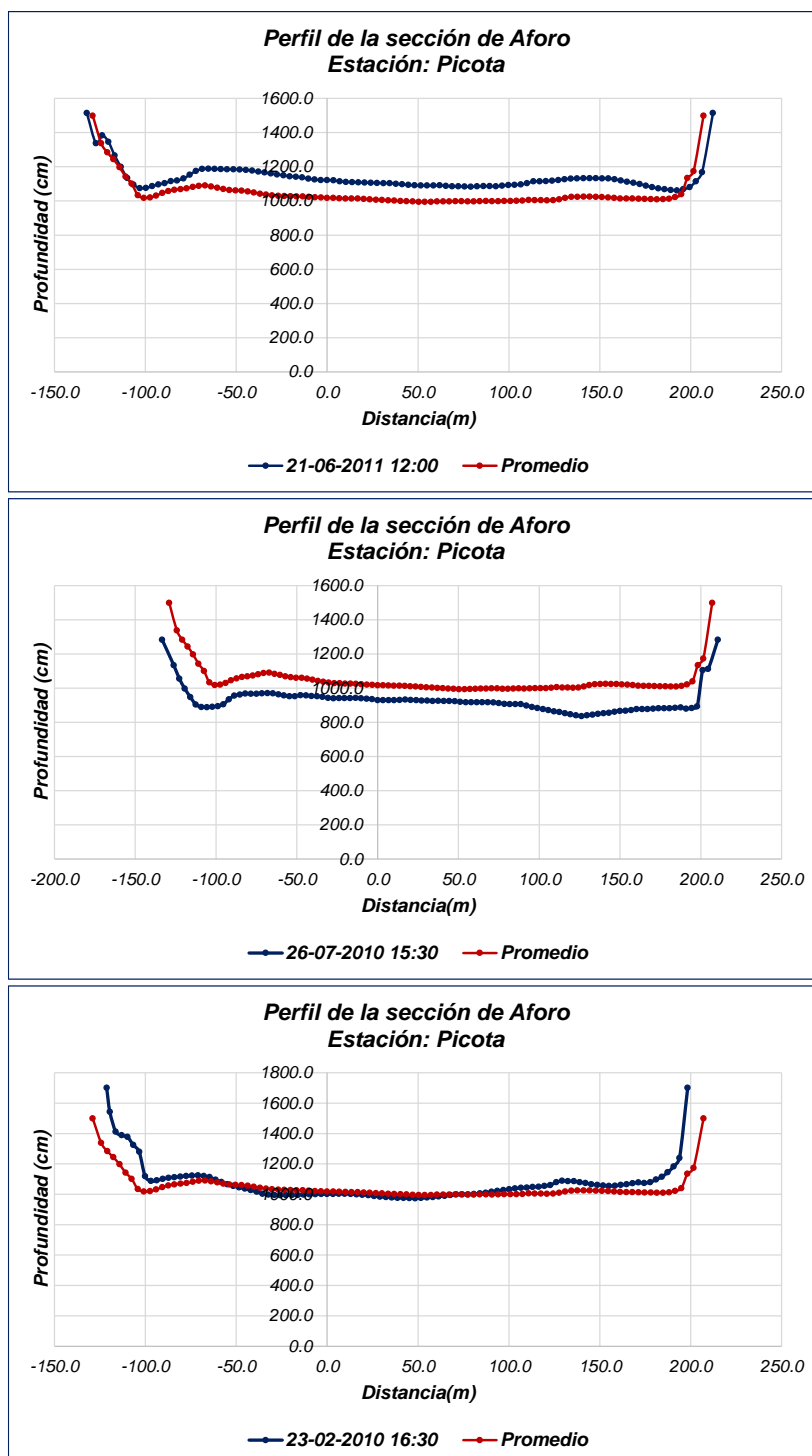


Figura 4-251. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo  
Fuente. Elaboración propia

- La dinámica de la hidráulica fluvial del río Huallaga pueda estar sujeta a procesos de erosión y sedimentación.
- La posible falta de calibración en el equipo de aforo, pudiera originar que los valores generados en la batimetría de la sección no tengan los mismos niveles de referencias absolutas.
- Puede también ser causa, la falta de una transectos perpendicular e las márgenes, a la hora de realizar el aforo con el bote.

Para ambas secciones analizadas, la forma de la caja hidráulica se mantiene invariante en el tiempo; sin embargo, lo que apreciamos son desfase en las secciones a la hora de realizar las comparaciones, tanto en el fondo del cauce del río como en las paredes laterales de la sección. Entre los errores sistemáticos que podemos considerar los cambios en la dirección de velocidad de la embarcación, a la hora de realizar el aforo, ya que la trayectoria desde una margen hacia la otra no registra una línea recta continua en el tiempo, tal como se aprecia en las **Figuras 4-252**, donde se muestran las direcciones del recorrido del bote para las secciones analizadas, lo que nos estaría corroborando la falta de una uniformidad en el criterio de desplazamiento a la hora de realizar los aforos.

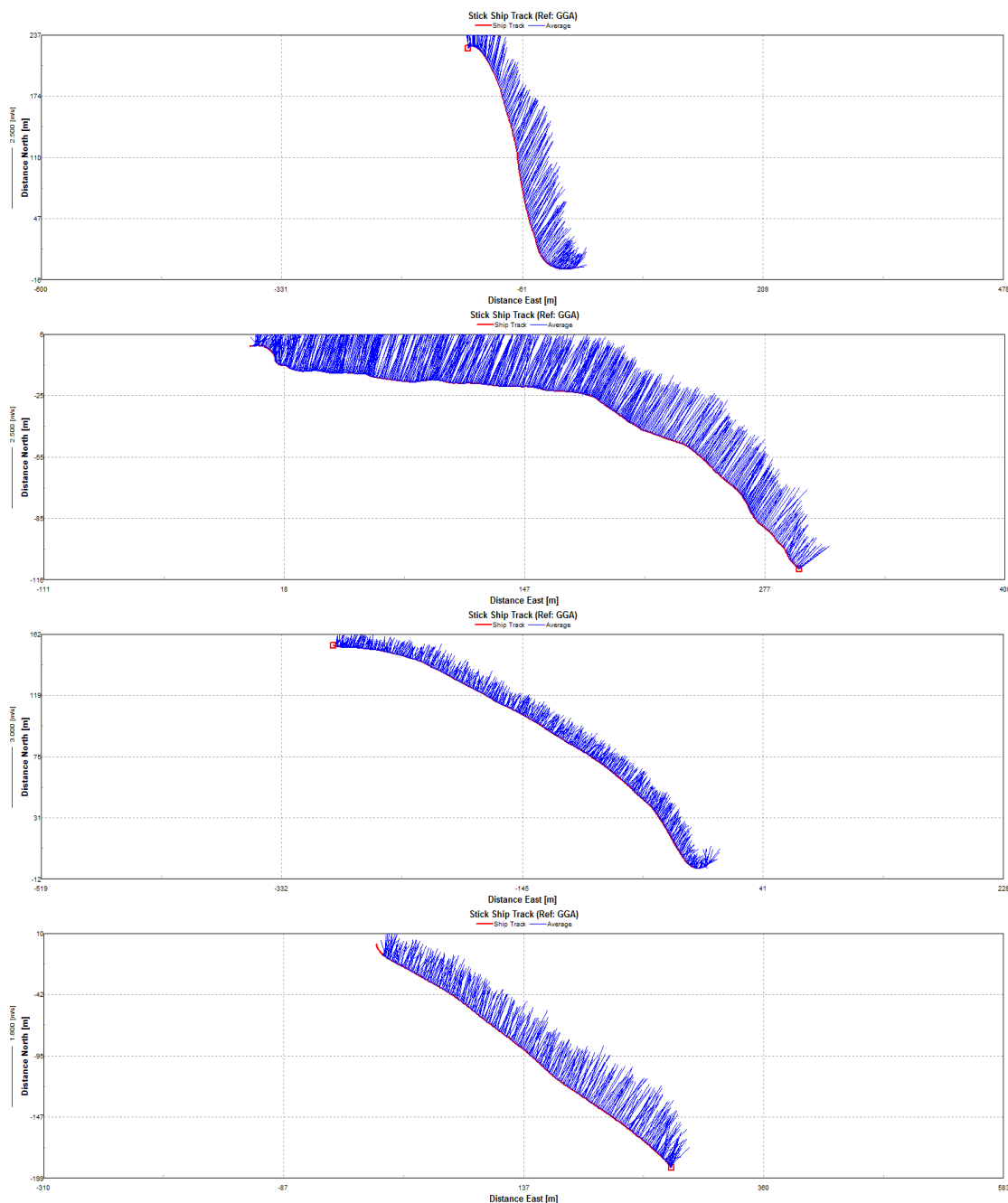


Figura 4-252. Perfiles de velocidad superficial del bote, en el momento del aforo  
Fuente. Elaboración propia

#### 4.5.4 Estación Nueva York

Se han seleccionada un total de 12 secciones transversales, las cuales se han generado durante el período de vaciante y creciente, que experimenta el río Corrientes durante el año hidrológico.

En la **Tabla 4-26**, se muestran las cantidades de secciones transversales para cada uno de los períodos considerados en los análisis, siendo el mayor en la época de vaciante

Tabla 4-26. Secciones hidráulicas – estación Nueva York

Período	Total de secciones
Vacante	09
Creciente	03
Total	12

Fuente: elaboración propia

En la **Figura 4-253**, se muestra la distribución del perfil promedio de la sección tanto para el periodo de vaciante como creciente; apreciándose que la sección de aforo es la misma y nos indica que los aforos realizados siempre ha sido en el mismo punto.

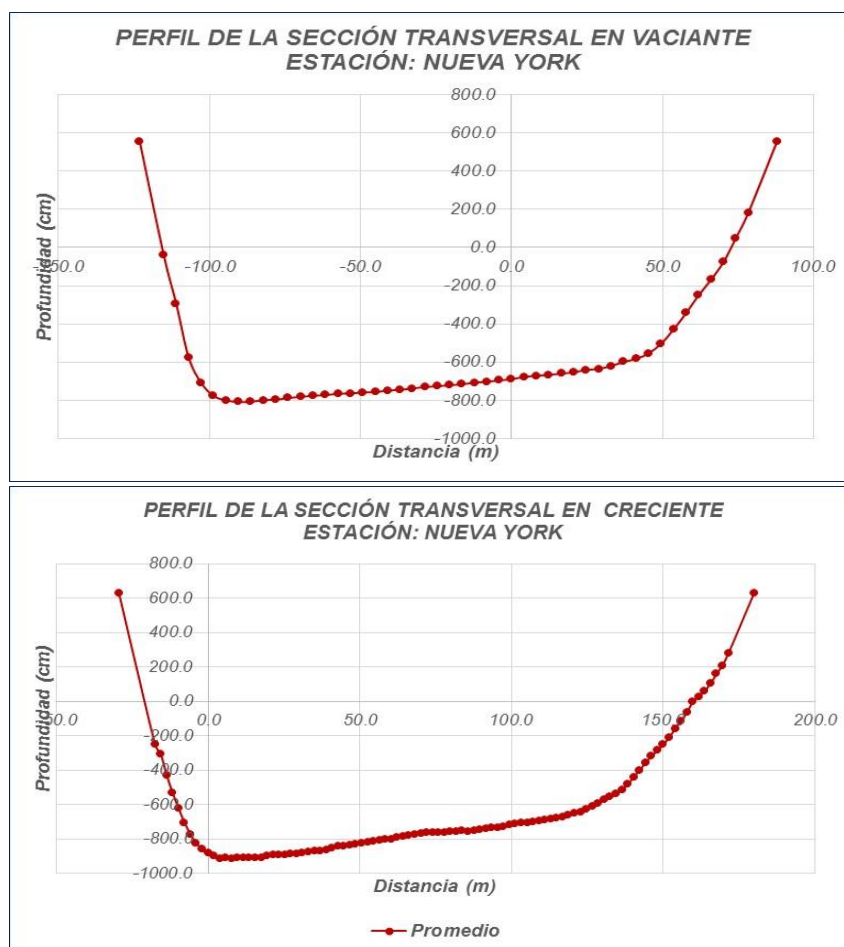


Figura 4-253. Distribución del perfil de la sección de aforo

Fuente: Elaboración propia



**a) Periodo de vaciante**

Para este período se trabajó con la sección promedio, la cual fue comparada con cada una de las secciones de aforo realizadas determinando en cada uno de los casos ligeras variaciones en la sección, la cual pueden estar debidas a los siguientes criterios:

- Los aforos no se desarrollaron íntegramente en la misma sección de aforo, por lo cual se prevé que se generen estas discrepancias entre las mismas.
- De ser la misma sección de aforo, las discrepancias que se registran entre las mismas se deben principalmente a mecanismos de erosión o sedimentación que se registra en el río Corrientes producto de la dinámica fluvial y de las características hidráulicas del río y pendiente.
- Problemas de calibración del equipo, lo que lleva al equipo (ADCP) a no representar en forma significativa la sección de aforo.

Cada uno de estos criterios fue considerado, con el fin de conocer realmente lo que ha sucedido durante cada una de las campañas de aforo; para ello se muestra en la **Tabla 4-27**, los parámetros hidráulicos de cada una de las secciones aforadas, así como también las secciones promedios.

Tabla 4-27. Parámetros hidráulicos del río Marañón - Estación Borja

Día	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Radio Hidráulico (m)	Hora
05-09-2006	1656.42	319.40	5.20	10:15
23-02-2007	1124.81	237.05	4.70	12:15
14-05-2007	1268.45	253.82	5.00	13:15
24-08-2007	1166.36	236.48	4.90	12:40
24-08-2007	1166.36	236.48	4.90	13:00
05-05-2008	1387.12	295.62	4.70	16:30
30-05-2009	1531.90	260.37	5.90	11:00
13-06-2009	1665.51	267.91	6.2	14:00
28-10-2009	1275.37	300.42	4.20	14:30
Promedio 1	1350.42	258.53	5.20	

Fuente: Elaboración propia

En el análisis comparativo entre las secciones y su promedio, se ha obtenido valores positivos (erosión) y negativos (colmatación) cuyos rangos son los siguientes:

- Con relación al promedio 1
  - Área de la sección: las discrepancias oscilan entre -16,70 % y 23,30%
  - Perímetro de la sección: las discrepancias oscilan entre -8,50% y 23,50%
  - Radio hidráulico: las discrepancias oscilan entre -19,20% y 19,20%

En la **Figura 4-254**, se muestra los análisis comparativos de los parámetros hidráulicos con su respectivo promedio, apreciándose una variabilidad significativa entre ellas, lo que nos indica que el cauce del río experimenta cambios en su sección.

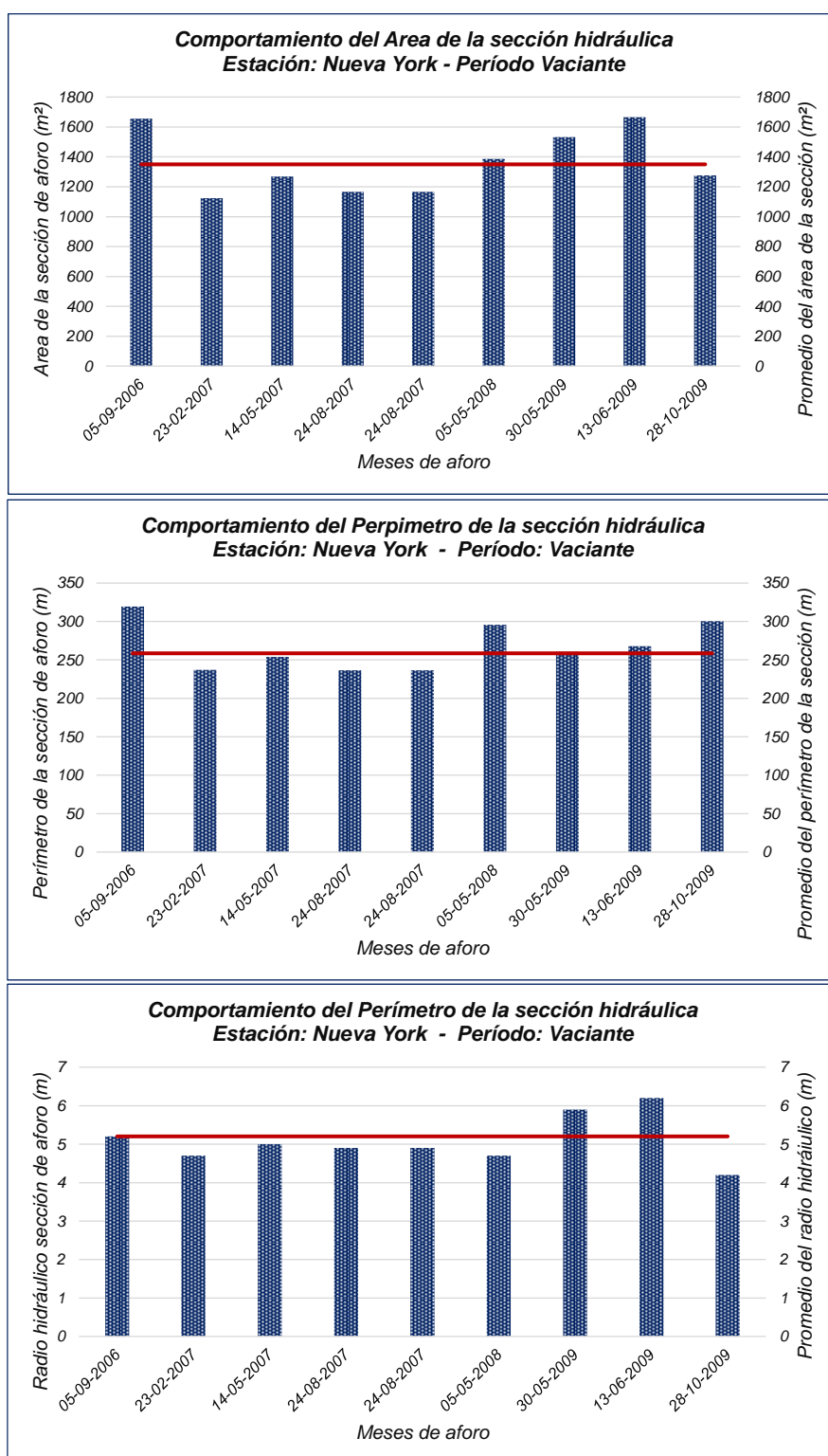


Figura 4-254. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio  
Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-255**, apreciamos el análisis comparativo de las secciones de aforo con sus respectivos valores promedios, encontrándose en cada uno de ellos una similitud en la forma de la sección hidráulica; lo que nos lleva a conocer la característica de la caja hidráulica, que en este caso tiene una forma trapezoidal, registrándose tanto en la margen derecha, izquierda y en el cauce; cambios.

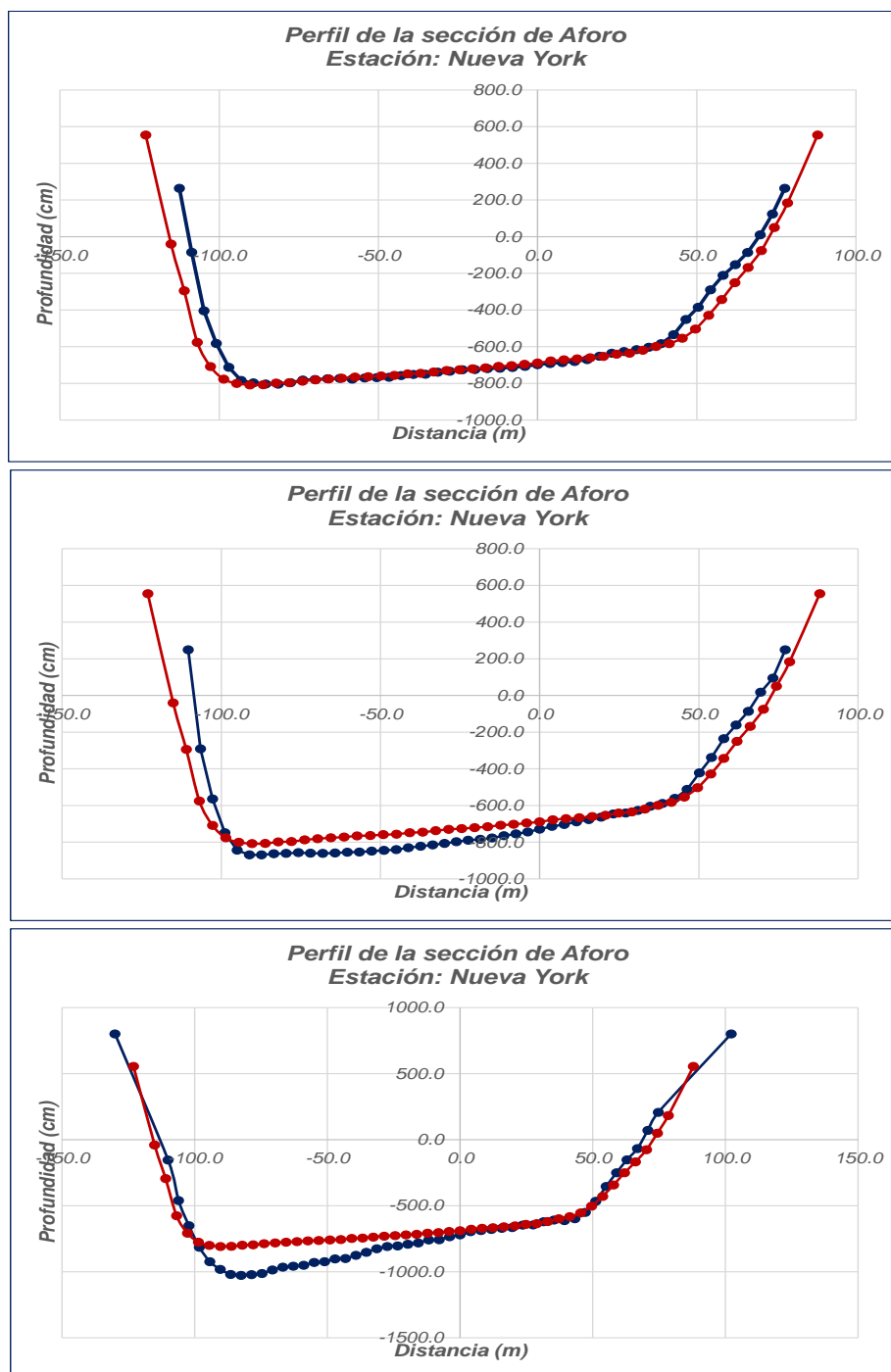


Figura 4-255. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo  
Fuente. Elaboración propia

Dichos cambios, pudieran esta originados por los factores siguientes:

- La dinámica de la hidráulica fluvial del río Corrientes experimenta cambios significativos por procesos de erosión y sedimentación.
- Se ha detectado que los aforos en su mayoría, han sido realizados aproximadamente en la misma sección de aforos.
- La carga hidráulica que registra el río Corrientes, en la estación de Nueva York, presenta una sección casi estable del tipo trapezoidal, registrándose las mayores profundidades en la margen izquierda del río.

#### **b) Período de creciente**

Para este período de aguas altas, se trabajó con la sección hidráulica promedio, la cual fue comparada con cada una de las secciones de aforo; determinándose en cada uno de los casos ligeras variaciones, la cual pueden estar debidas a los siguientes criterios:

- Los aforos no se desarrollaron íntegramente en la misma sección de aforo, por lo cual se prevé que se generen estas discrepancias entre las mismas.
- De ser la misma sección de aforo, las discrepancias que se registran entre las mismas se deben principalmente a mecanismos de erosión o sedimentación que se registra en el río Corrientes producto de la dinámica fluvial y de las características hidráulicas del río y pendiente.
- Problemas de calibración del equipo, lo que ha llevado a que los valores registrado por los sensores del ADCP, no logres representar en forma significativa la sección de aforo.

Cada uno de estos criterios fue considerado, con el fin de conocer realmente lo que ha sucedido durante cada una de las campañas de aforo; para ello se muestra en la **Tabla 4-28**, los parámetros hidráulicos de cada una de las secciones aforadas, así como también las secciones promedios, obtenidas en base a las características del caudal obtenido.

Tabla 4-28. Parámetros hidráulicos del río Marañón - Estación Borja

Día	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Radio Hidráulico	Hora
29-09-2006	1316.73	233.83	5.6	16:00
19-02-2009	1447.20	264.15	5.5	12:00
16-05-2009	1650.41	260.21	6.3	12:00
Promedio 1	1460.61	251.60	5.8	

Fuente. Elaboración propia

En el análisis comparativo entre cada una de las secciones y su correspondiente promedio, se han obtenido valores positivos (erosión) y negativos (colmatación) cuyos rangos son los siguientes:

- Con relación al promedio 1
  - Área de la sección: las discrepancias oscilan entre -9,85 % y 12,99%
  - Perímetro de la sección: las discrepancias oscilan entre -7,06% y 4,99%
  - Radio hidráulico: las discrepancias oscilan entre -5,17% y 8,62%

En la **Figura 4-256**, se muestra el análisis comparativo de las secciones transversales generadas por lo aforos, durante el período comprendido entre 2006 / 2009; apreciándose que la sección de aforo en promedio presenta características uniforme en su forma de tipo trapezoidal; además, es notorio el incremento del sección por el volumen de agua que transita por él.

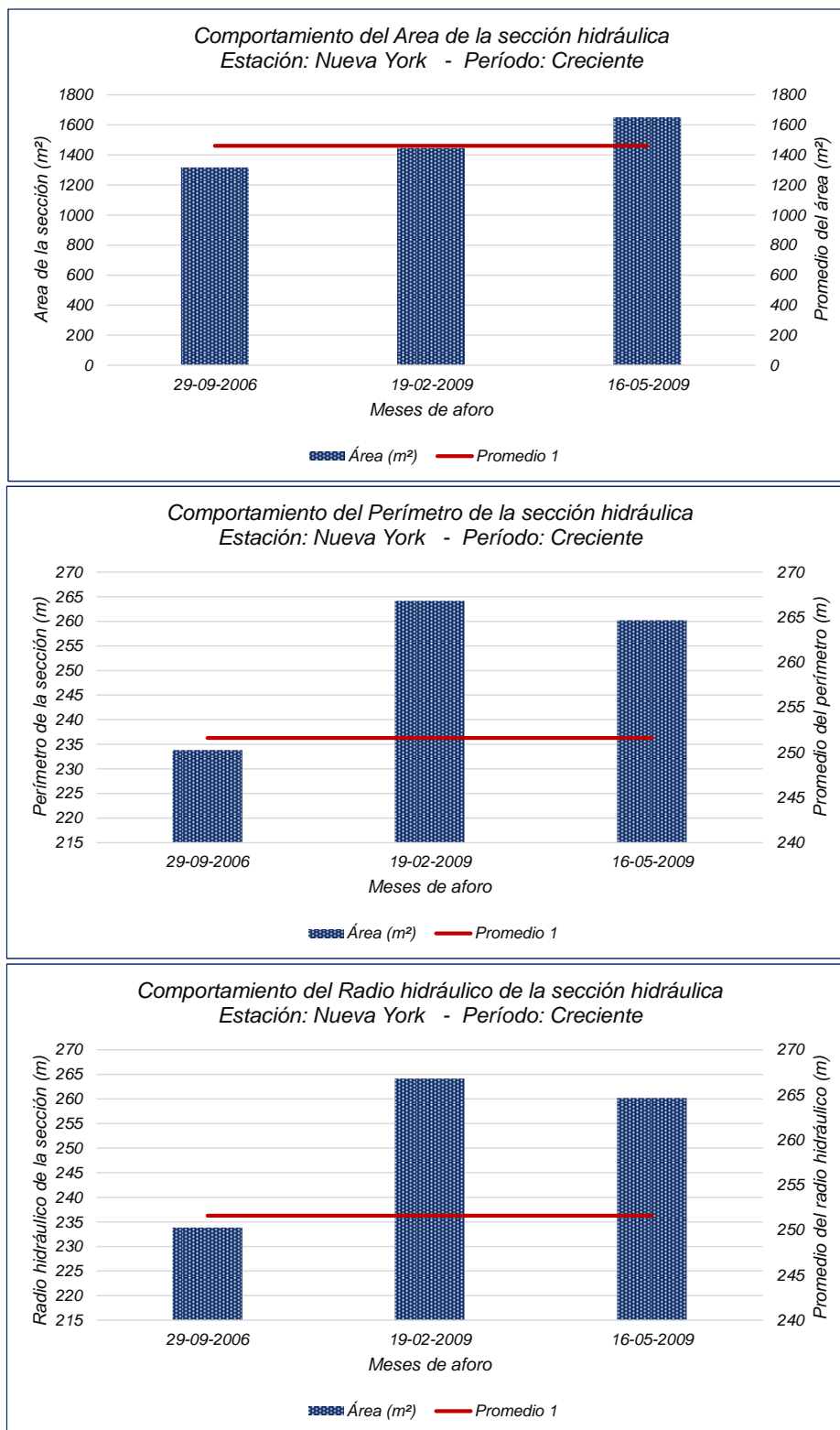


Figura 4-256. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-257**, apreciamos el análisis comparativo de las secciones de aforo con sus respectivos valores promedios, apreciando que durante el proceso de aforo se ha utilizado la misma sección hidráulica, cuya forma es trapezoidal y presenta ligeras discrepancias en los márgenes, ocasionada por factores sistemáticos en general, que pueden estar debida a la operatividad de equipo o su falta de calibración.

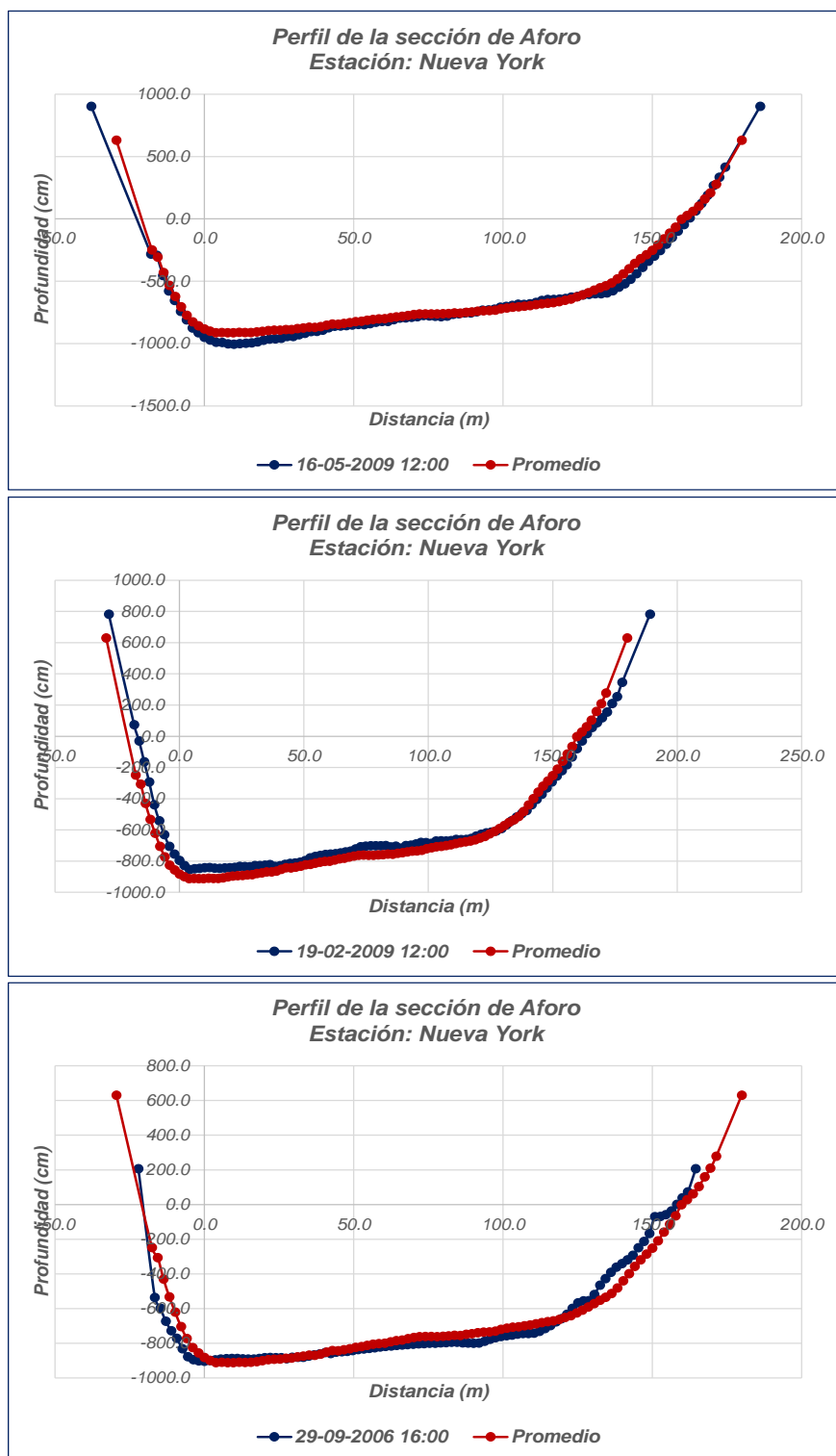


Figura 4-257. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo  
Fuente. Elaboración propia

Sabemos que la sección hidráulica es estable durante el aforo en el período de vaciante y creciente; sin embargo, en los análisis comparativos de ellas con sus promedios, se presentan ligeras variaciones especialmente en las márgenes derecha e izquierda del río, la cual se podría deber a una falta de operatividad del equipo o la calibración del mismo. Para ello se recurrió al análisis de la direccionalidad de la velocidad del bote al surcar desde la margen derecha a la izquierda y determinar si este parámetro ha influido sustancialmente en los resultados finales, tal como se muestra en la **Figura 4-258**.

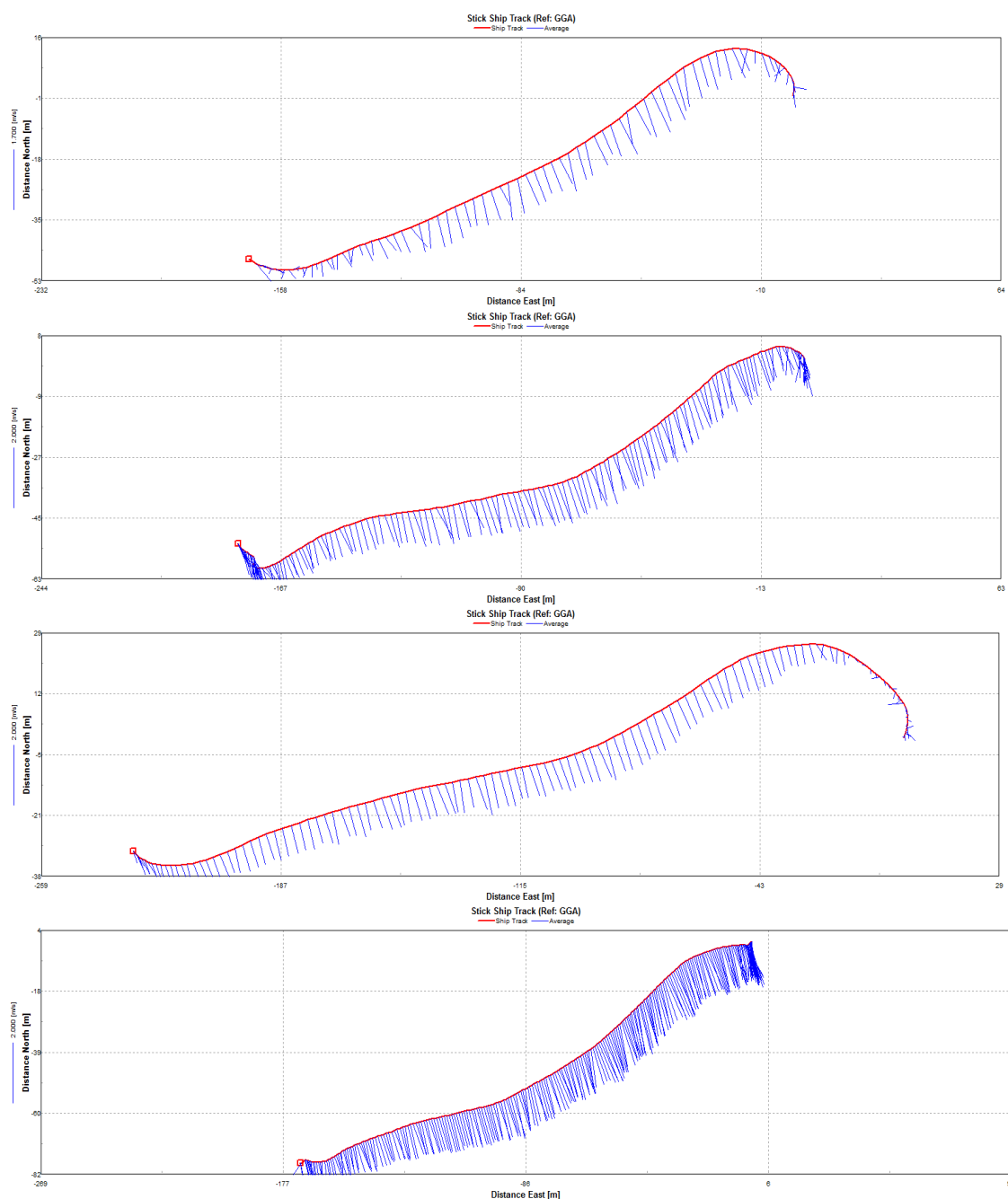


Figura 4-258. Perfiles de velocidad superficial del bote, en el momento del aforo  
Fuente. Elaboración propia



#### 4.5.5 Estación San Regis

Se han seleccionada un total de 55 secciones transversales, las cuales se han generado durante el período de vaciante y creciente, que experimenta el río Marañón durante el año hidrológico.

En la **Tabla 4-29**, se muestra las cantidades de secciones transversales para cada uno de los períodos considerados en los análisis.

Tabla 4-29. Secciones hidráulicas – estación San Regis

Período	Total de secciones
Vacante	15
Creciente	40
Total	55

Fuente: elaboración propia

En la **Figura 4-256**, se muestra la distribución del perfil promedio de la sección tanto para los períodos de vaciante y creciente; apreciándose un comportamiento uniforme en la caja hidráulica que nos indica que los aforos han sido realizados en la misma sección de aforo.

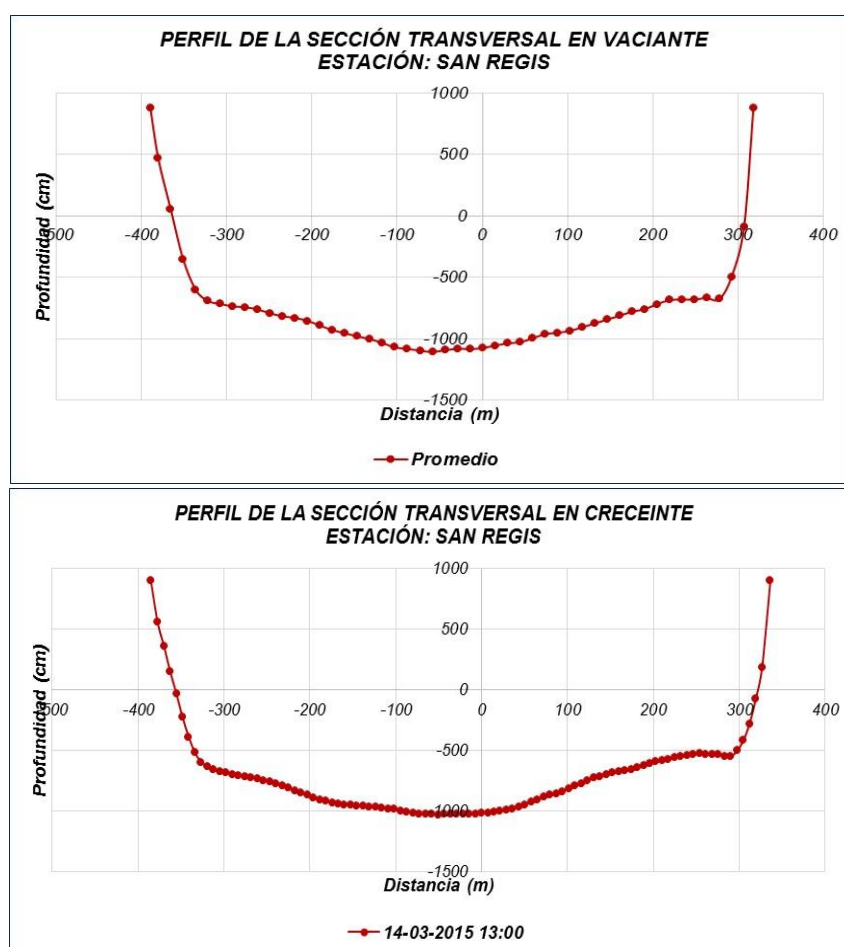


Figura 4-259. Distribución del perfil de la sección de aforo

Fuente: Elaboración propia

**a) Periodo de vaciante**

Para este período se trabajó con la sección promedio, la cual fue comparada con cada una de las secciones de aforo realizadas determinando en cada uno de los casos ligeras variaciones en la sección, la cual pueden estar debidas a los siguientes criterios:

- Los aforos no se desarrollaron íntegramente en la misma sección de aforo, por lo cual se prevé que se generen estas discrepancias entre las mismas.
- De ser la misma sección de aforo, las discrepancias que se registran entre las mismas se deben principalmente a mecanismos de erosión o sedimentación que se registra en el río Marañón producto de la dinámica fluvial y de las características hidráulicas del río y pendiente.
- Problemas de calibración del equipo, lo que ha llevado a que los valores registrado por los sensores del ADCP, no logres representar en forma significativa la sección de aforo.

Cada uno de estos criterios fue considerado, con el fin de conocer realmente lo que ha sucedido durante cada una de las campañas de aforo; para ello se muestra en la **Tabla 4-30**, los parámetros hidráulicos de cada una de las secciones aforadas, así como también las sección promedio.

Tabla 4-30. Parámetros hidráulicos del río Marañón - Estación San Regis

Día	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Radio Hidráulico (m)	Hora
16-05-2003	6178.96	754.69	8.19	15:00
08-06-2003	6168.22	743.84	8.29	15:00
26-10-2003	6055.42	733.15	8.26	17:15
24-01-2004	5867.37	745.09	7.87	10:30
24-04-2004	5445.65	743.12	7.33	11:30
20-06-2004	5791.60	754.89	7.67	11:00
13-09-2004	6182.53	760.72	8.13	11:00
18-10-2005	5640.85	722.95	7.80	12:30
26-09-2006	5690.14	741.68	7.67	11:30
30-09-2006	5757.50	736.37	7.82	14:30
27-04-2008	6237.31	768.03	8.12	15:00
15-05-2009	6137.18	773.56	7.93	15:20
18-05-2009	6168.70	776.41	7.95	09:00
27-05-2009	6309.90	772.42	8.17	14:00
13-06-2009	6751.13	781.52	8.64	11:00
Promedio 1	6014.65	755.33	7.96	

Fuente: elaboración propia

En el análisis comparativo entre las secciones y su promedio, se ha obtenido valores positivos (erosión) y negativos (colmatación) cuyos rangos son los siguientes:

- Con relación al promedio 1
  - Área de la sección: las discrepancias oscilan entre -9,46 % y 12,24%
  - Perímetro de la sección: las discrepancias oscilan entre -4,29% y 3,47%
  - Radio hidráulico: las discrepancias oscilan entre -7,91% y 8,54%

En la **Figura 4-260**, se muestra el análisis comparativo de las secciones transversales de aforo para el período de vaciadas, apreciándose claramente una uniformidad en la variabilidad de las secciones, lo que no sucede así con respecto a los perímetros que si muestra una variación bastante significativa.

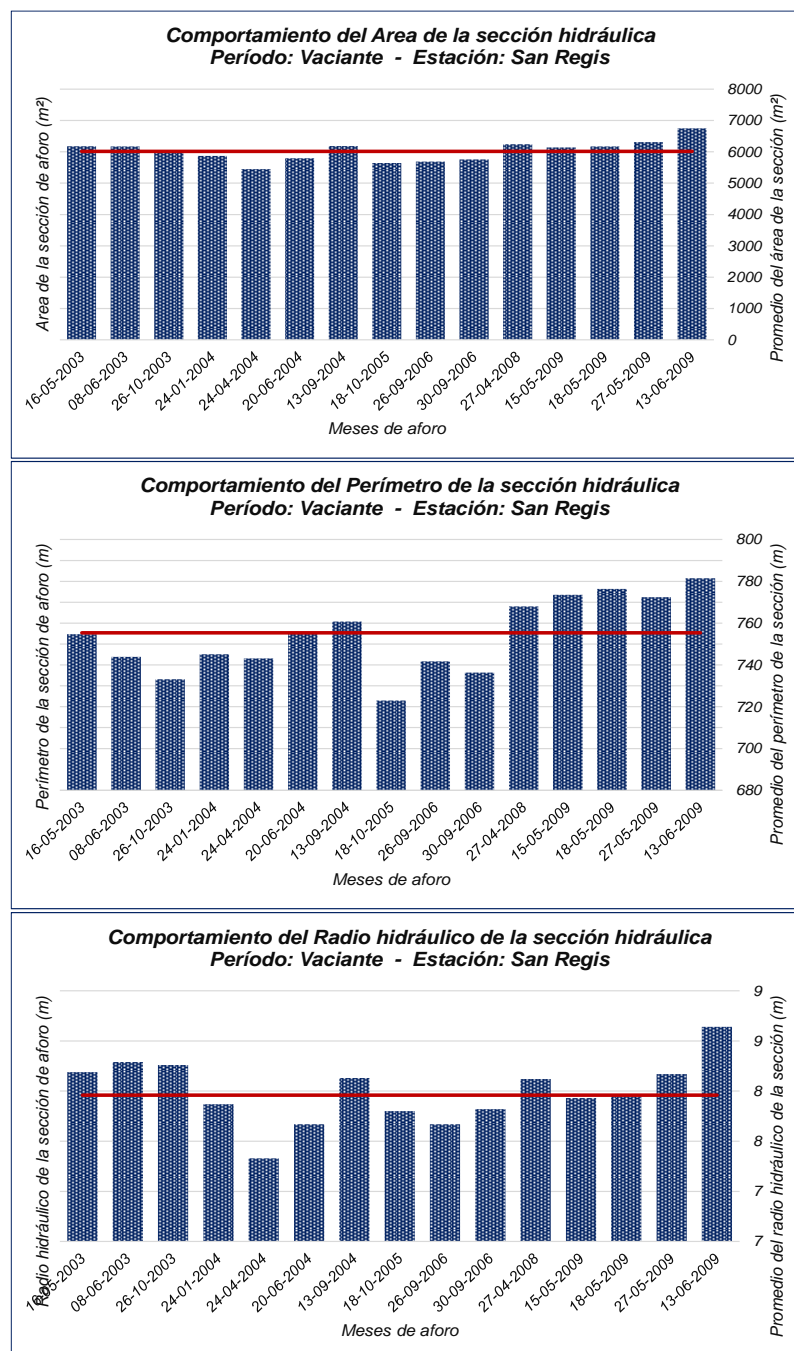


Figura 4-260. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-261**, apreciamos el análisis comparativo de las secciones de aforo con sus respectivos valores promedios, encontrándose en cada uno de ellos una similitud en la forma de la sección hidráulica; lo que nos lleva a conocer la característica de la caja hidráulica, que tiene la forma trapezoidal; sin embargo, podemos ver ciertas discrepancia en el fondo del cauce, que puede deberse a:

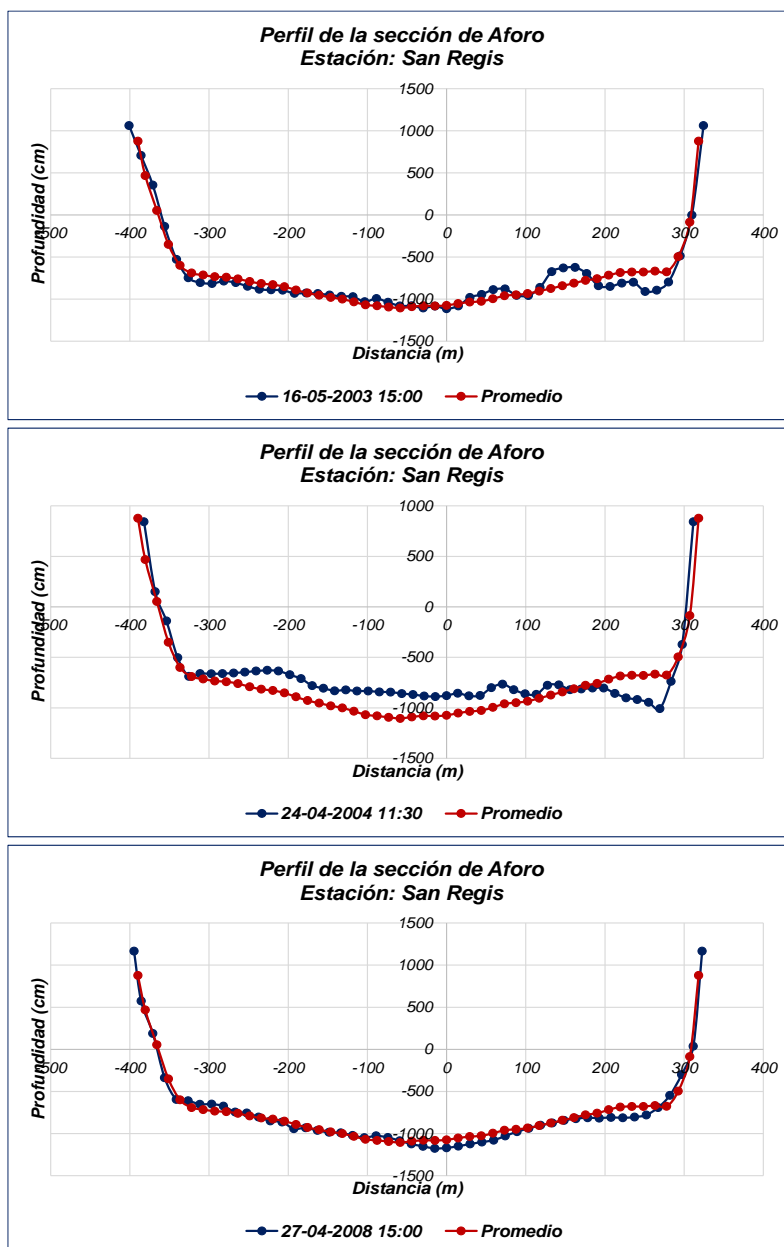


Figura 4-261. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo  
Fuente. Elaboración propia

- La dinámica de la hidráulica fluvial del río Marañón experimenta cambios significativos por procesos de erosión y sedimentación.
- Se ha detectado que los aforos realizados en su mayoría se han realizado aproximadamente en la misma sección de aforos; mientras que en otras se nota claramente un desfase de las secciones.

- Toda la carga hidráulica que registra el río Marañón en la estación de Borja, está centrada hacia una de las márgenes

**b) Periodo de creciente**

Para este período de aguas altas, se trabajó con la sección hidráulica promedio, la cual fue comparada con cada una de las secciones de aforo; determinándose en cada uno de los casos ligeras variaciones, la cual pueden estar debidas a los siguientes criterios:

- Los aforos no se desarrollaron íntegramente en la misma sección de aforo, por lo cual se prevé que se generen estas discrepancias entre las mismas.
- De ser la misma sección de aforo, las discrepancias que se registran entre las mismas se deben principalmente a mecanismos de erosión o sedimentación que se registra en el río Marañón producto de la dinámica fluvial y de las características hidráulicas del río y pendiente.
- Problemas de calibración del equipo, lo que ha llevado a que los valores registrado por los sensores del ADCP, no logres representar en forma significativa la sección de aforo.

Cada uno de estos criterios fue considerado, con el fin de conocer realmente lo que ha sucedido durante cada una de las campañas de aforo; para ello se muestra en la **Tabla 4-31**, los parámetros hidráulicos de cada una de las secciones aforadas, así como también las sección promedio, obtenidas en base a las características de la secciones analizadas. En el análisis comparativo entre cada una de las secciones y su correspondiente promedio, se han obtenido valores positivos (erosión) y negativos (colmatación) cuyos rangos son los siguientes:

- Con relación al promedio 1
  - Área de la sección: las discrepancias oscilan entre -45,82 % y 34,93%
  - Perímetro de la sección: las discrepancias oscilan entre -5,51% y 10,31%
  - Radio hidráulico: las discrepancias oscilan entre -48,66% y 34,37%

Se aprecia que las mayores discrepancias entre las secciones transversales con sus promedio, se da en el lecho del río (fondo), con ligereas diferencias en las paredes laterales especialmente de la margen derecha.

En la **Figura 4-262**, se muestra el análisis comparativo de los parámetros hidráulicos de las secciones transversales generadas por lo aforos, durante el período comprendido entre 2005 / 2015; con sus respectivos valores medios, permitiendo de esta manera conocer cómo ha variado las secciones a través del tiempo:

- El área transversal de la sección, presenta una variabilidad en su comportamiento y describe una tendencia decreciente, presentando los mayores valores al inicio de la campaña de aforo (2005).
- El perímetro mojado de la sección, presenta una tendencia creciente.
- El radio hidráulico, muestra una tendencia decreciente en su comportamiento temporal.

Tabla 4-31. Parámetros hidráulicos del río Marañón - Estación San Regis

Día	Área (m²)	Perímetro (m)	Radio Hidráulico	Hora
04-03-2005	3512.13	369.83	9.50	14:00
08-07-2005	3268.28	353.78	9.24	12:00
10-06-2005	3161.89	350.89	9.01	18:00
13-02-2006	3467.47	406.16	5.84	16:00
05-08-2006	2655.90	369.90	7.18	15:30
22-02-2007	2555.45	358.91	7.12	16:00
14-05-2007	2928.75	366.50	7.99	17:30
13-05-2007	2834.32	347.92	8.15	15:00
28-04-2008	3236.92	368.62	8.78	08:30
31-10-2008	2994.87	352.60	7.49	10:00
11-12-2008	2926.37	359.60	8.14	07:30
26-11-2008	2561.30	357.56	7.16	14:30
26-11-2008	2569.03	357.61	7.18	15:00
12-10-2008	2588.06	359.57	7.20	14:00
12-10-2008	2583.97	359.49	7.19	14:30
14-02-2009	2813.82	370.12	7.60	12:00
17-02-2009	2698.66	370.25	7.29	16:00
16-05-2009	2958.16	374.33	7.90	15:30
17-05-2009	2861.99	371.24	7.71	16:00
29-05-2009	3060.52	370.09	8.27	17:00
16-06-2009	3224.05	380.15	8.48	16:30
28-10-2009	2905.11	362.29	8.02	18:00
06-08-2010	2726.35	363.32	7.50	14:45
29-10-2010	2619.36	359.40	7.29	11:00
29-10-2010	2619.36	359.50	7.29	11:10
20-10-2010	2619.36	359.40	7.29	11:20
03-12-2011	1814.01	379.37	4.78	11:45
02-12-2011	1814.01	379.37	4.78	12:15
03-12-2011	1814.01	379.37	4.78	12:45
20-07-2011	2217.37	369.13	6.01	10:52
23-11-2011	2006.12	371.96	5.39	16:00
02-11-2011	1410.39	388.29	3.63	16:00
13-04-2012	2326.12	377.95	6.15	15:30
20-04-2012	2382.69	378.76	6.29	10:00
09-11-2012	2376.80	350.38	6.78	16:30
28-04-2013	2378.93	375.48	6.34	15:00
16-12-2013	1963.65	373.22	5.26	12:30
07-06-2014	2480.78	379.63	6.53	16:00
11-06-2014	2317.18	372.02	6.23	14:00
14-03-2015	2205.25	390.84	5.64	13:00
Promedio 1	2603.02	368.19	7.07	

Fuente. Elaboración propia

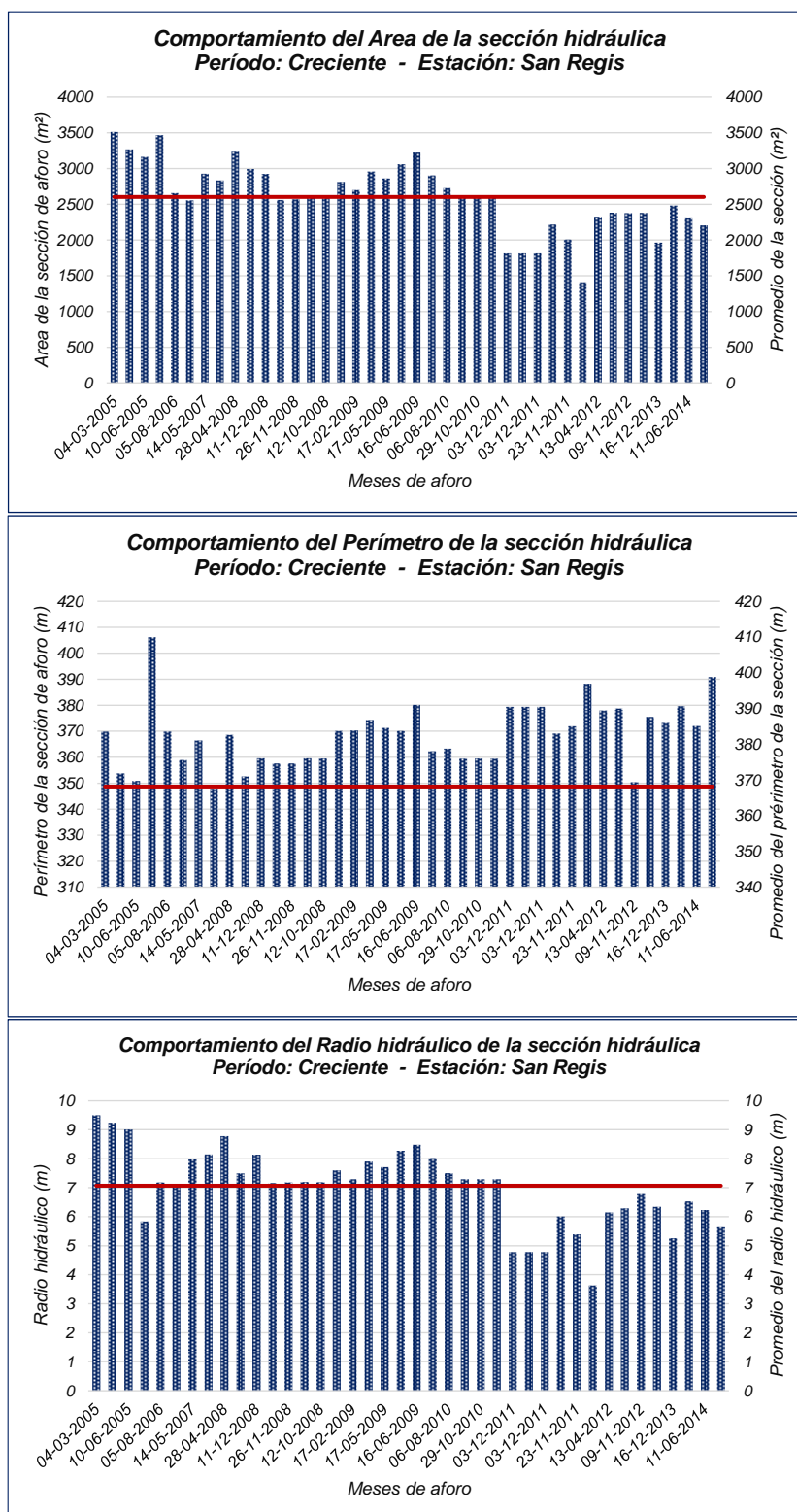


Figura 4-262. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio  
Fuente. Elaboración propia



En la **Figura 4-263**, apreciamos el análisis comparativo de las secciones de aforo con sus respectivos valores promedios, apreciándose que la sección transversal presenta ciertas variaciones, especialmente a nivel del lecho del río que se va acentuando entre las partes más profundas y la margen izquierda.

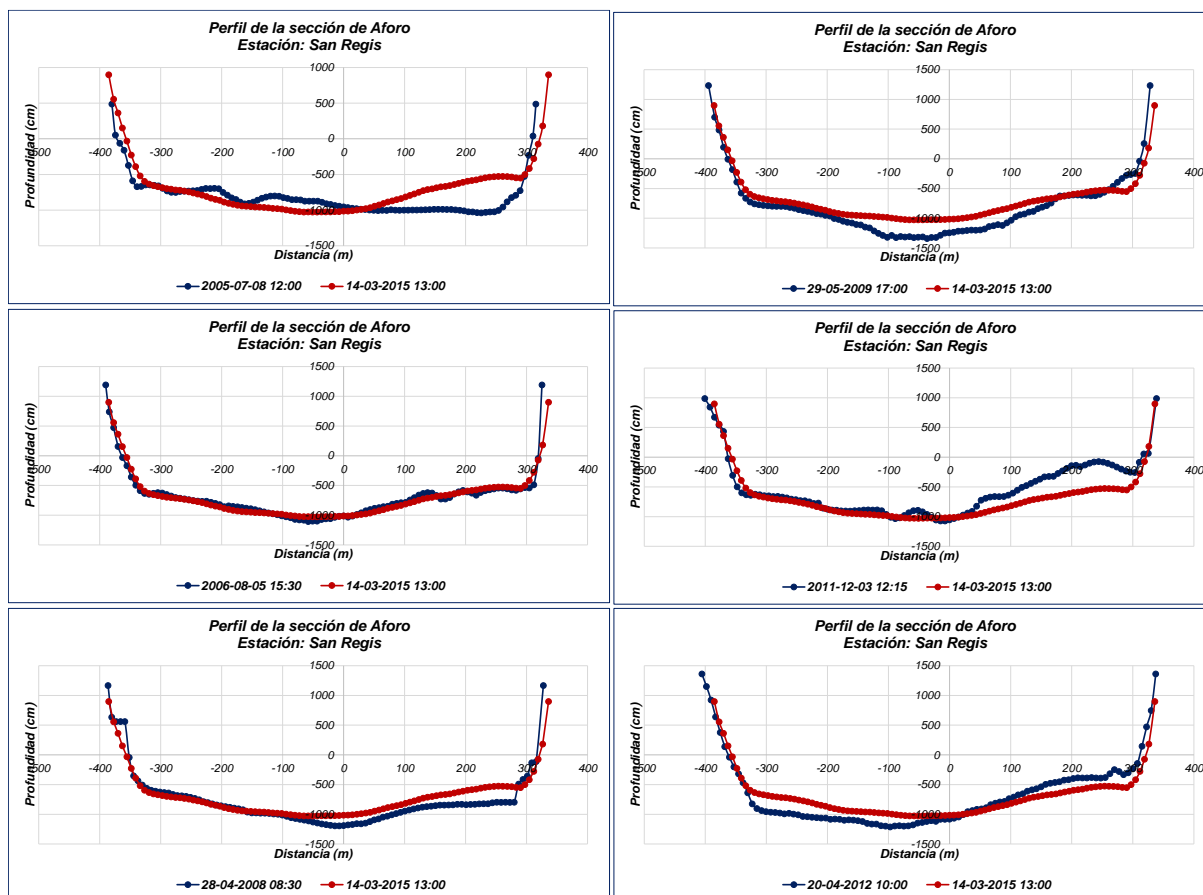


Figura 4-263. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo

Fuente. Elaboración propia

La forma de la sección hidráulica, muestra caja hidráulica invariante en el tiempo; sin embargo, lo que apreciamos son desfase en las secciones a la hora de realizar las comparaciones, especialmente en el fondo del lecho del río de la sección.

Entre los errores sistemáticos que podemos considerar, son los cambios de dirección de velocidad en la embarcación a la hora de realizar el aforo, ya que la trayectoria desde una margen hacia la otra no registra una línea recta continua en el tiempo, tal como se aprecia en las **Figuras 4-264**, donde se muestra claramente como no logra mantenerse la linealidad en la trayectoria de la ruta que cubre la embarcación de una margen hacia la otra, pudiendo esto ser la causa de que las secciones presenten cierta variabilidad o discrepancias.

Es bueno recordar que este análisis está centrado en el régimen de aguas altas, lo que puede conllevar a una falta de mantener la dirección correcta a la hora de realizar el aforo, por ende consideramos que las discrepancias presentadas son mínimas.

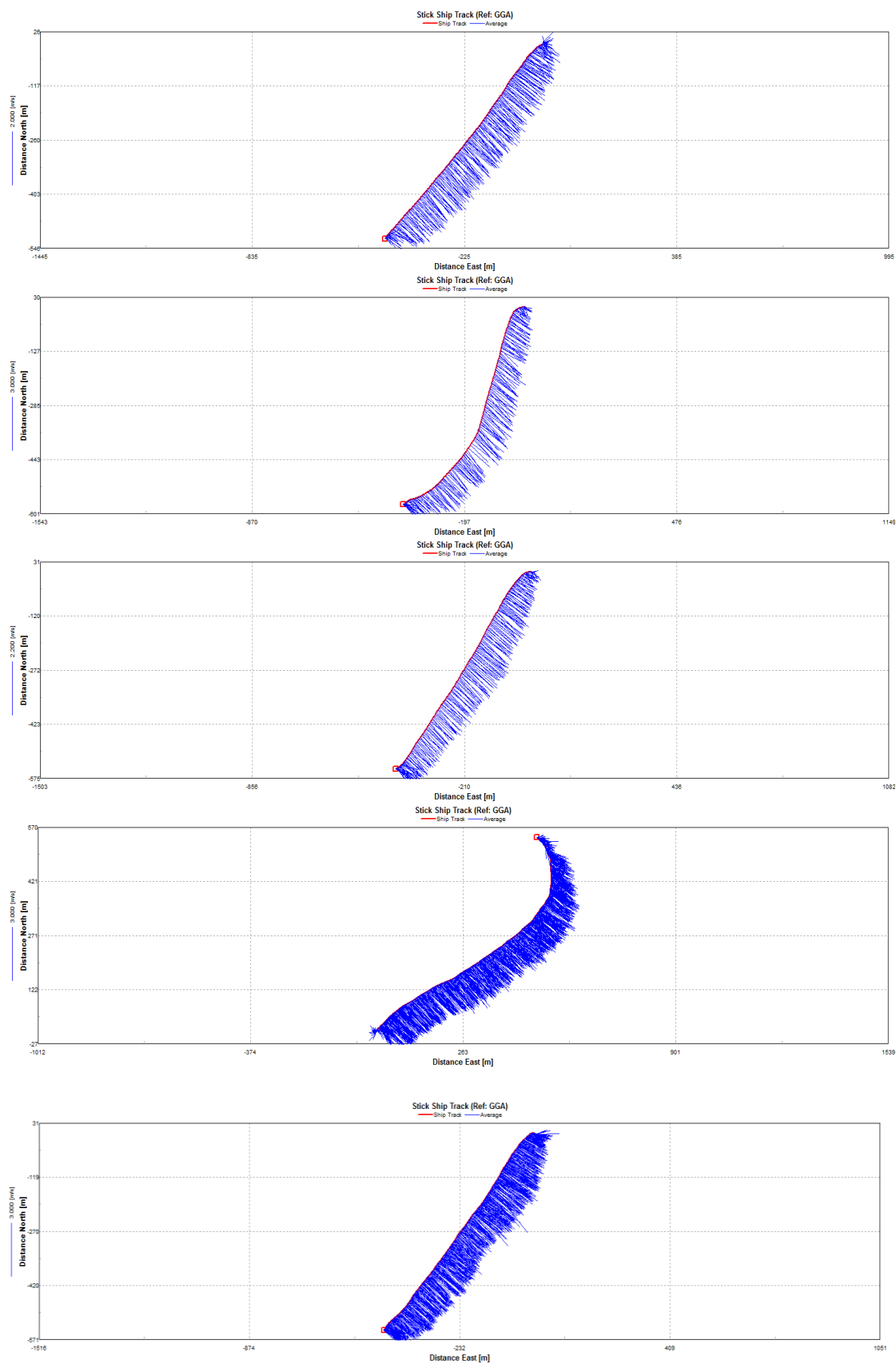


Figura 4-264. Perfiles de velocidad superficial del bote, en el momento del aforo  
Fuente. Elaboración propia

#### 4.5.6 Estación Nauta

Se han seleccionada un total de 55 secciones transversales, las cuales se han generado durante el período de vaciante y creciente, que experimenta el río Marañón durante el año hidrológico.

En la **Tabla 4-32**, se muestra las cantidades de secciones transversales para cada uno de los períodos considerados en los análisis.

Tabla 4-32 Secciones hidráulicas – estación Nauta

Período	Total de secciones
Vacante	06
Creciente	05
Total	11

Fuente: elaboración propia

En la **Figura 4-265**, se muestra la distribución del perfil promedio de la sección tanto para los períodos de vaciante y creciente; apreciándose un comportamiento que las secciones de aforo han ido variando a través de la escala temporal de análisis de aforo.

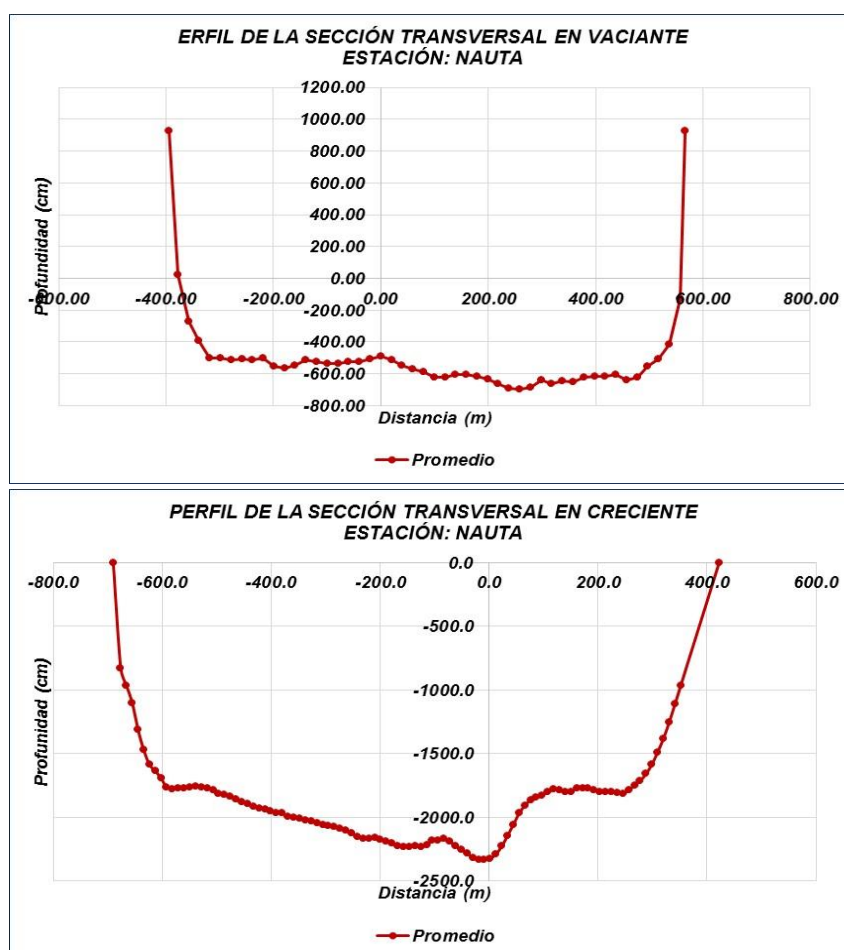


Figura 4-265. Distribución del perfil de la sección de aforo

Fuente: Elaboración propia

#### a) *Periodo de vaciante*

Para este período se trabajó con la sección promedio, la cual fue comparada con cada una de las secciones de aforo realizadas determinando en cada uno de los casos ligeras variaciones en la sección, la cual pueden estar debidas a los siguientes criterios:

- Los aforos no se desarrollaron íntegramente en la misma sección de aforo, por lo cual se prevé que se generen estas discrepancias entre las mismas.
- De ser la misma sección de aforo, las discrepancias que se registran entre las mismas se deben principalmente a mecanismos de erosión o sedimentación que se registra en el río Marañón producto de la dinámica fluvial y de las características hidráulicas del río y pendiente.
- Problemas de calibración del equipo, lo que ha llevado a que los valores registrado por los sensores del ADCP, no logres representar en forma significativa la sección de aforo.

Cada uno de estos criterios fue considerado, con el fin de conocer realmente lo que ha sucedido durante cada una de las campañas de aforo; para ello se muestra en la **Tabla 4-33**, los parámetros hidráulicos de cada una de las secciones aforadas, así como también las sección promedio.

Tabla 4-33. Parámetros hidráulicos del río Marañón - Estación Nauta

Día	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Radio Hidráulico (m)	Hora
13-12-2001	13366.82	938.72	14.24	13:30
05-12-2002	15944.51	904.34	17.63	15:00
18-10-2005	6092.19	619.79	9.83	16:45
15-03-2011	5323.60	1067.04	4.99	15:30
15-03-2011	5323.60	1067.04	4.99	16:00
20-07-2011	5661.30	893.85	6.33	15:30
Promedio 1	5495.35	1008.33	5.45	

Fuente: elaboración propia

En el análisis comparativo entre las secciones y su promedio, se ha obtenido valores positivos (erosión) y negativos (colmatación) cuyos rangos son los siguientes:

- Con relación al promedio 1
  - Área de la sección: las discrepancias oscilan entre -3,12 % y 10,86%
  - Perímetro de la sección: las discrepancias oscilan entre -38,53% y 5,82%
  - Radio hidráulico: las discrepancias oscilan entre -8,44% y 16,15%

En la **Figura 4-266**, se muestra el análisis comparativo de los parámetros hidráulicos de la sección de aforo, encontrándose que hay una gran variabilidad entre las secciones de aforo, lo

que nos indica que en el proceso de aforo, se utilizaron secciones diferentes, donde se registraron caudales bastante significativos como en el 2001 y 2002.

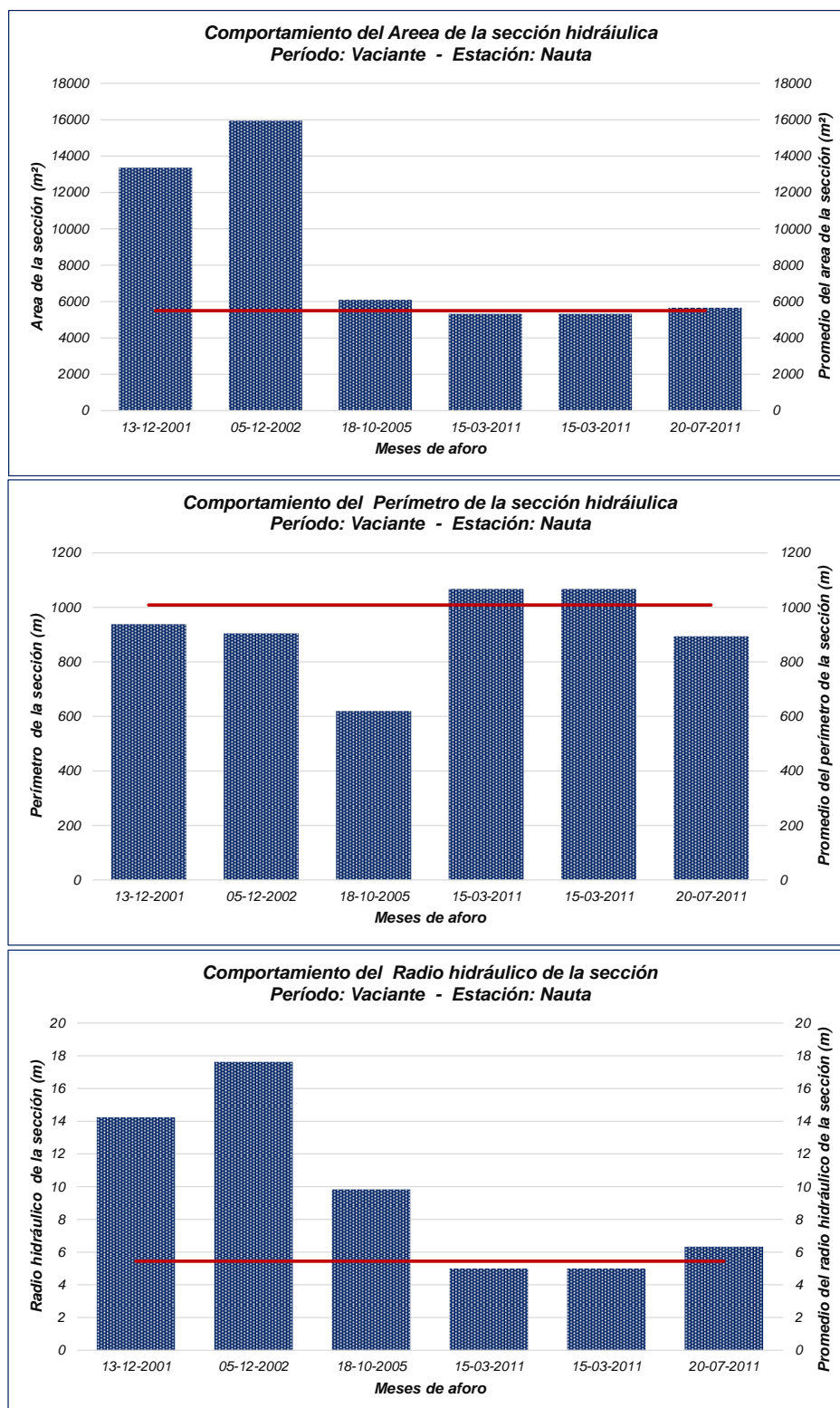


Figura 4-266. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio

Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-267**, apreciamos el análisis comparativo de las secciones de aforo con su respectivo valor promedio, encontrándose en cada uno de ellos una variabilidad muy significativa lo que nos indicaría que los aforos han sido realizado en diferentes secciones hidráulicas por ello la fuerte discrepancia que se presentan tanto en el lecho del río como en las paredes laterales, como se visualiza en las dos primeras figuras, mientras que en la tercera se ve claramente que estamos frente a dos secciones diferentes de aforo.

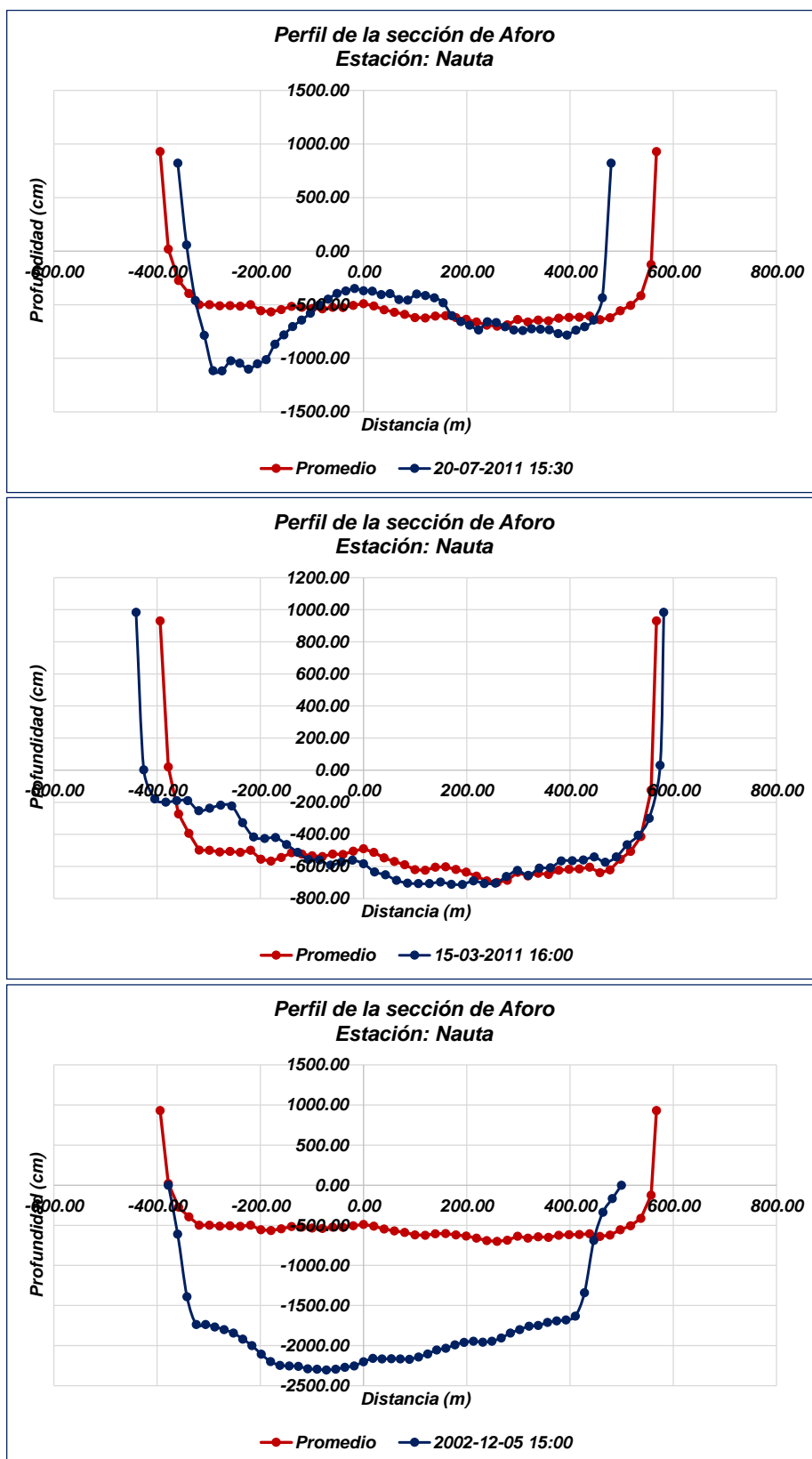


Figura 4-267. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo  
Fuente. Elaboración propia



## b) *Periodo de creciente*

Para este período de aguas altas, se trabajó con la sección hidráulica promedio, la cual fue comparada con cada una de las secciones de aforo; determinándose en cada uno de los casos ligeras variaciones, la cual pueden estar debidas a los siguientes criterios:

- Los aforos no se desarrollaron íntegramente en la misma sección de aforo, por lo cual se prevé que se generen estas discrepancias entre las mismas.
- De ser la misma sección de aforo, las discrepancias que se registran entre las mismas se deben principalmente a mecanismos de erosión o sedimentación que se registra en el río Marañón producto de la dinámica fluvial y de las características hidráulicas del río y pendiente.
- Problemas de calibración del equipo, lo que ha llevado a que los valores registrado por los sensores del ADCP, no logre representar la sección de aforo.

Cada uno de estos criterios fue considerado, con el fin de conocer realmente lo que ha sucedido durante cada una de las campañas de aforo; para ello se muestra en la **Tabla 4-34**, los parámetros hidráulicos de cada una de las secciones aforadas, así como también las sección promedio, obtenidas en base a las características de la secciones analizadas.

Tabla 4-34. Parámetros hidráulicos del río Marañón - Estación Nauta

Día	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Radio Hidráulico	Hora
15-04-2012	10834.20	606.77	17.86	14:00
15-04-2012	10834.20	606.77	17.86	16:00
20-04-2012	6019.23	423.32	13.92	14:00
29-04-2013	9631.50	559.73	17.21	09:30
16-12-2013	6817.38	518.04	13.16	16:00
Promedio 1	10346.25	590.94	17.51	

Fuente. Elaboración propia

Se aprecia que los mayores aforos, se han desarrollad en el turno de la tarde a partir de las 14:00 horas.

En el análisis comparativo entre cada una de las secciones y su correspondiente promedio, se han obtenido valores positivos (erosión) y negativos (colmatación) cuyos rangos son los siguientes:

- Con relación al promedio 1
  - Área de la sección: las discrepancias oscilan entre -41,82 % y 4,72%
  - Perímetro de la sección: las discrepancias oscilan entre -28,36% y 2,68%
  - Radio hidráulico: las discrepancias oscilan entre -24,84% y 2,00%

Es importante resaltar aquí, que las secciones de aforo durante las campañas, han sido diferentes razones por la cual se presentan variabilidades.

En la **Figura 4-268**, se muestra el análisis comparativo de los parámetros hidráulicos de las secciones transversales generadas por lo aforos, durante el período comprendido entre 2012 / 2013; con sus respectivos valores medios, permitiendo de esta manera conocer cómo ha variado las secciones a través del tiempo:

- El área transversal de la sección, presenta una variabilidad en su comportamiento y describe una tendencia decreciente, presentando los mayores valores al inicio de la campaña de aforo (2012).
- El perímetro mojado de la sección, presenta una tendencia variable.
- El radio hidráulico, muestra una tendencia decreciente.

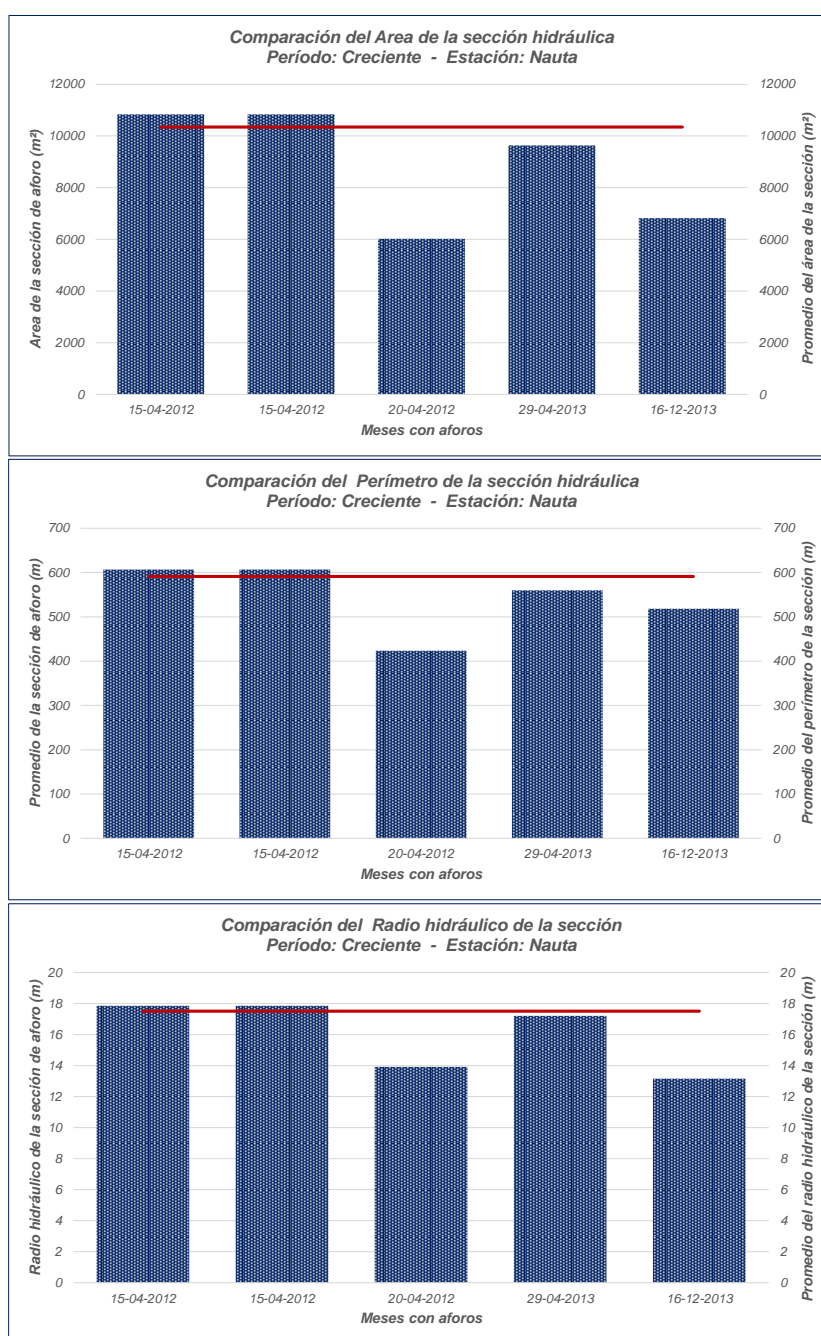


Figura 4-268. Comparación de los perfiles de la sección con su promedio  
Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 4-269**, apreciamos el análisis comparativo de las secciones de aforo con su respectivo valor promedio, apreciándose que la sección transversal presenta ciertas variaciones, especialmente a nivel del lecho del río que se va acentuado entre las partes más profundas y ligeramente en sus márgenes. Además, es muy notorio el cambio de sección de aforo.

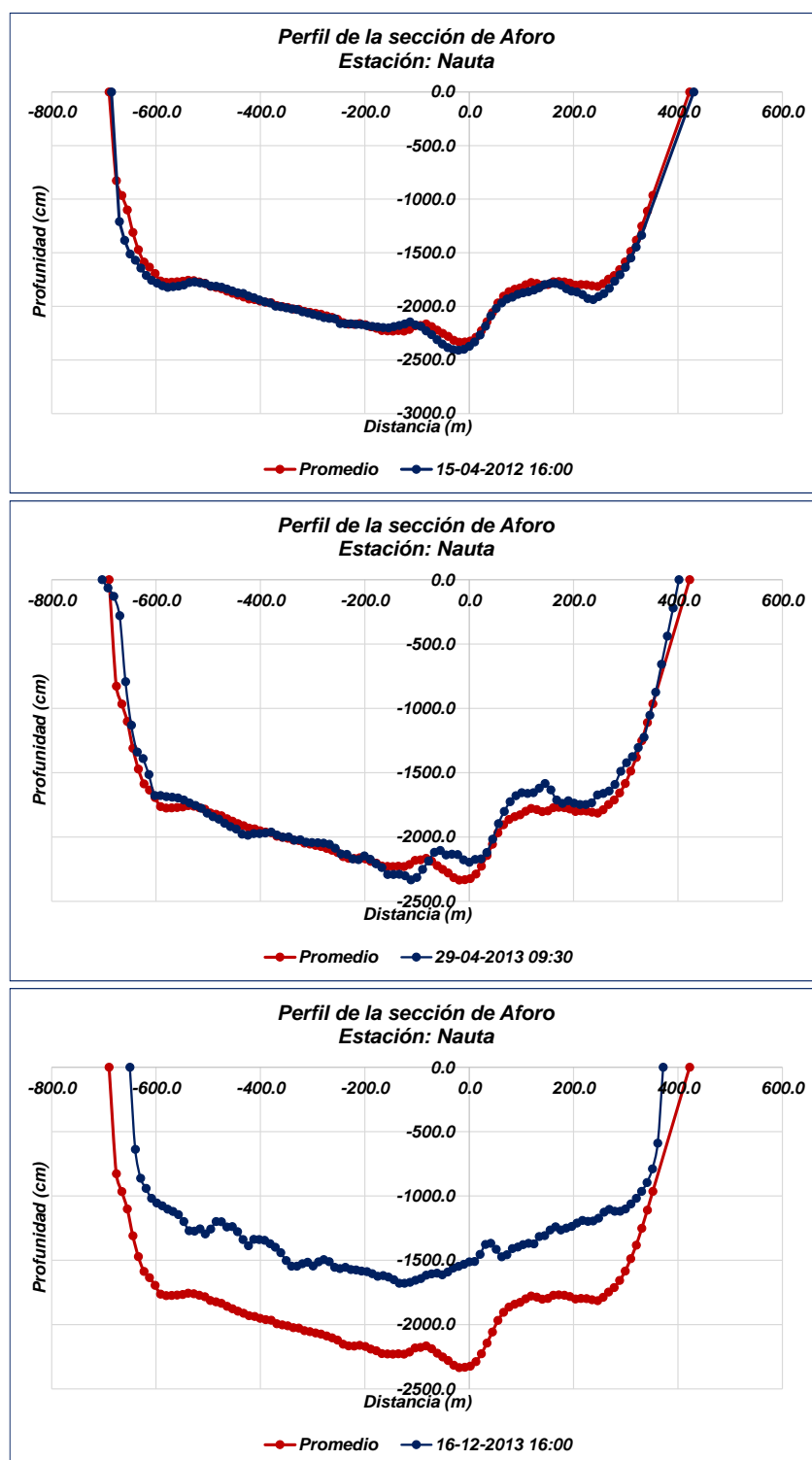


Figura 4-269. Perfiles comparativos de las secciones transversales de aforo  
Fuente. Elaboración propia

Entre los posibles errores sistemáticos a considerar, son los cambios de dirección del bote debido a la corriente de las aguas que origina que no se mantenga una línea recta en los transectos de una margen hacia otra, lo que conlleva a tener una variabilidad en la sección, dependiendo de la época de aforo (vaciante o creciente), lo cual se puede corroborar en la **Figuras 4-270**, donde se muestra claramente como no se logra mantenerse la linealidad en la trayectoria de la ruta que cubre la embarcación, pudiendo ser la causa que las secciones presenten dicha variabilidad.

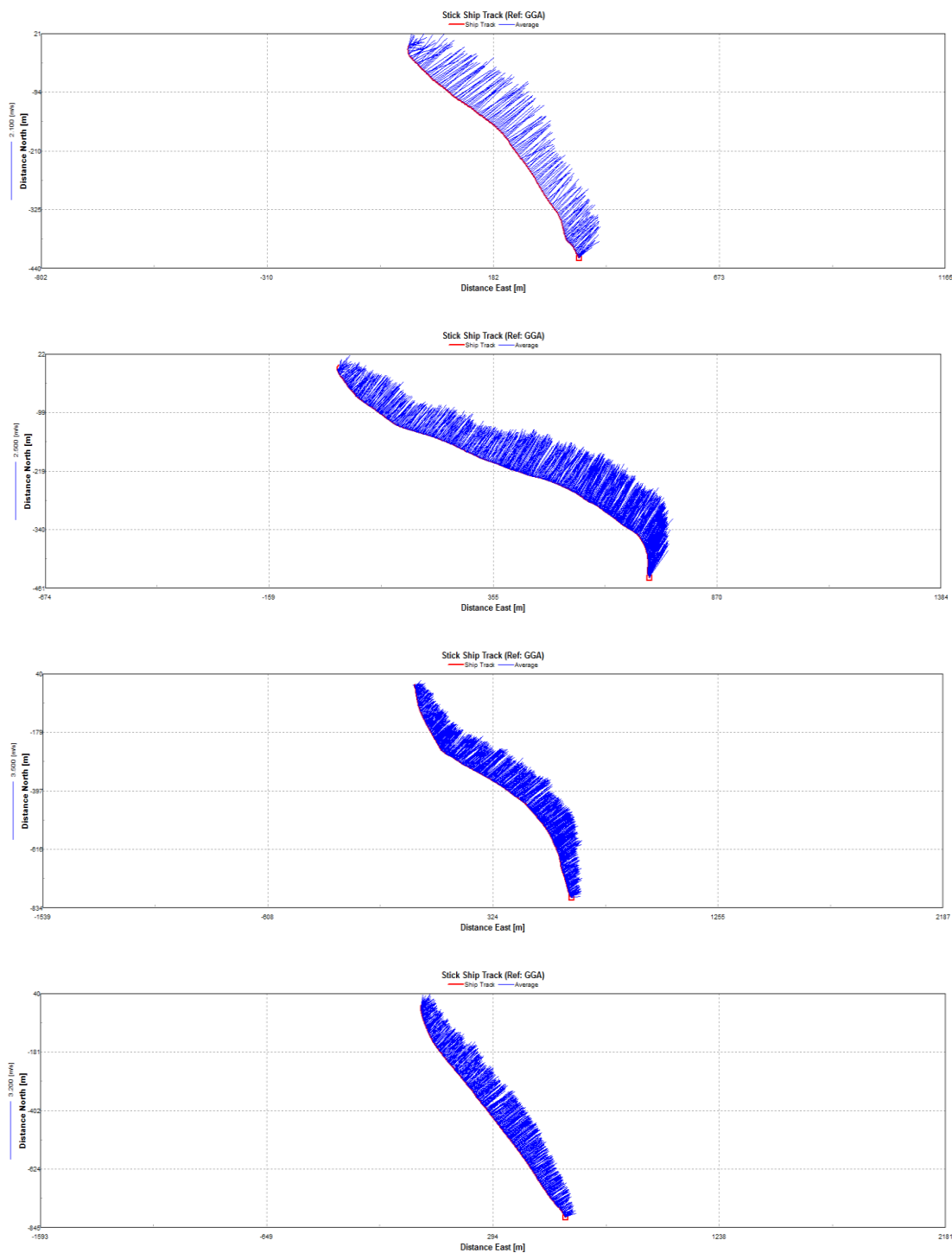


Figura 4-270. Perfiles de velocidad superficial del bote, en el momento del aforo  
Fuente. Elaboración propia

#### 4.6 Regionalización de parámetros hidráulicos

Dentro de esta fase de la investigación, se buscó representar a través de un modelo matemático, las relaciones funcionales de la variabilidad de los parámetros hidráulicos, entre las secciones de aforo que se tienen implementadas a lo largo de los ríos Marañón y Huallaga.

Sobre la base de esta información se generaron los análisis teniendo en consideración dos aspectos importantes:

- **Tramo Marañón – Marañón**

Para este primer tramo, consideramos los aforos comprendidos entre las estaciones de Nauta, San Regis, Nueva York y Borja, que en total hacen 112 aforos generados durante el período comprendido de 2003 / 2015.

En la **Figura 4-271**, se muestra el comportamiento espacial y temporal de las áreas de cada una de las secciones hidráulicas, desde Nauta hasta Borja, apreciándose claramente la variabilidad con valores máximos en la estación de Nauta, que es la integradora de la cuenca del río Marañón, y las mínimas que se presentan en Borja.

También apreciamos claramente como durante el período 16-05-2013 al 13-06-2009, se observa un incremento muy importante en la sección hidráulica del río Marañón estación San Regis, duplicando sus valores en la época de vaciante, lo que no sucede con las otras estaciones de la cuenca.



Figura 4-271. Comportamiento del área de la sección de aforo

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de tener una dinámica regional entre los parámetros hidráulicos de todas las secciones de las estaciones de aforo, se generó un análisis regional entre las variables determinándose en cada caso relaciones funcionales que permitan incidir el comportamiento entre ellas y así poder describir y entender las causas de las variaciones y cambios que se registren y como estas alteran las hidrología de la cuenca.

En la **Figura 4-272**, se muestra el análisis generado entre el área de la sección y el perímetro de la sección, para lo cual se plotearon todos los pares de valores obtenidos, aunque en su conjunto están representados por los puntos de color celeste y azul; sin embargo, dicha dispersión obedece al comportamiento del régimen hidrológico durante la época de vaciante y creciente. Para ello se identificó aquellos puntos que van mostrando ciertas variaciones en su distribución como son los puntos de color celeste.

Para los puntos de color azul, se logró identificar a todos los pares de valores que guardan cierto comportamiento uniforme en su distribución y que permite ajustar una expresión algebraica de primer orden y segundo orden.

- Para la relación entre el Perímetro de la sección y Área de la sección, el ajuste obtenido es de primer orden.
- Para la relación entre el Radio hidráulico y Área de la sección, el ajuste obtenido es de segundo orden.

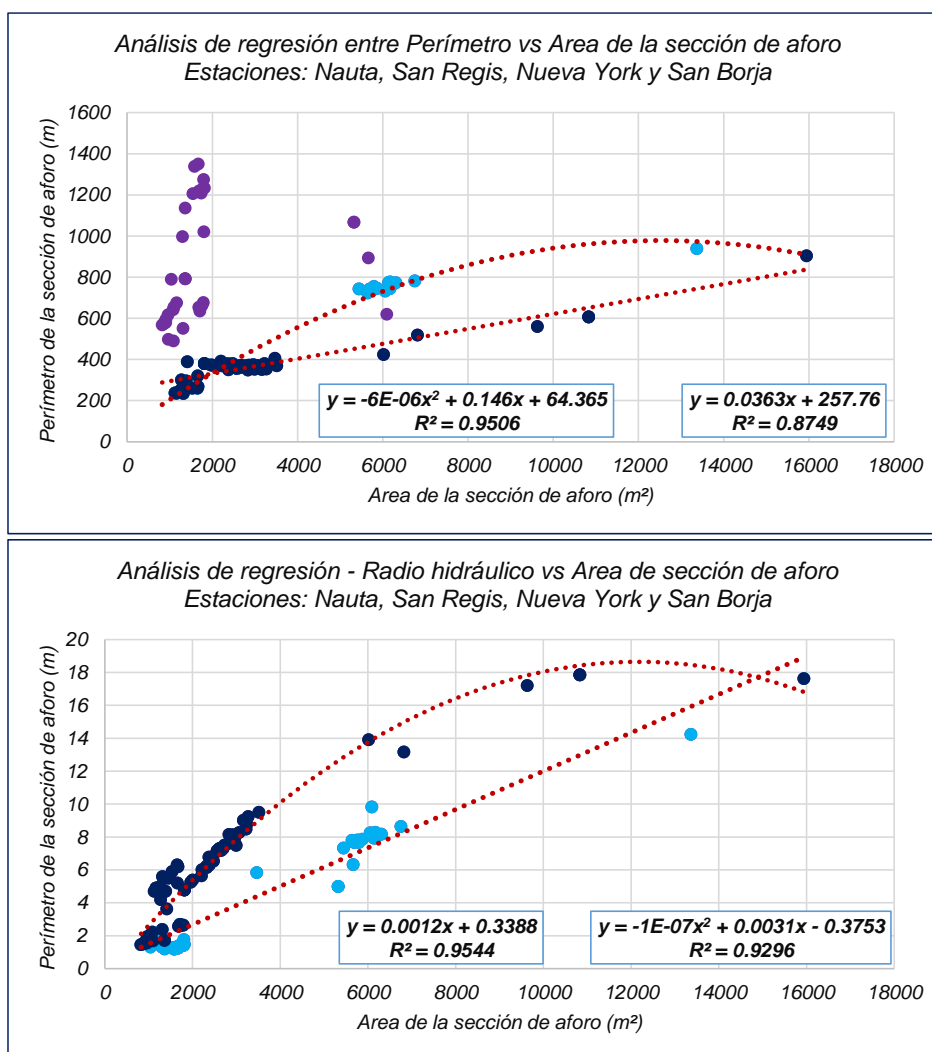


Figura 4-272. Análisis de regresión de los parámetros hidráulicos

Fuente: Elaboración propia

Para ambos casos, se ha logrado integrar los parámetros hidráulicos de las estaciones de aforo, con los cual podemos conocer los procesos de evolución dinámicos de las condiciones hidráulica del río Marañón desde la zona de Borja hasta Nauta.

- **Tramo Huallaga – Marañón**

Para este segundo tramo, considerarnos los aforos comprendidos entre las estaciones de Nauta, San Regis, Nueva York, Chazuta y Picota, que en total hacen 116 aforos generados durante el período comprendido de 2003 / 2015.

En la **Figura 4-273**, se muestra el comportamiento espacial y temporal de las áreas de cada una de las secciones hidráulicas, desde Nauta hasta Picota, apreciándose claramente la variabilidad con valores máximos en la estación de Nauta, que es la integradora de la cuenca del río Marañón, y las mínimas que se presentan en Chazuta.

También apreciamos claramente como durante el período 16-05-2013 al 13-06-2009, se observa un incremento muy importante en la sección hidráulica del río Marañón estación San Regis (flecha de color rojo), duplicando sus valores en la época de vaciante; mientras que en la estación de Picota (26-06-2010 al 21-06-2011), se aprecia el mismo tipo de comportamiento pero en menor magnitud (flecha de color lila).



Figura 4-273. Comportamiento del área de la sección de aforo

Fuente: Elaboración propia

La dinámica regional entre los parámetros hidráulicos de todas las secciones de las estaciones de aforo, fue analizada regionalmente con el fin de determinar las relaciones funcionales que permitan incidir el comportamiento entre ellas y así poder describir y entender las causas de las variaciones, cambios que se registren y como estas alteran la hidrología de la cuenca.

En la **Figura 4-274**, se muestra los valores de pares de datos ploteados para el Perímetro mojados y el Área de la sección, que en su conjunto están conformados por los puntos celeste y azul.

Los puntos celestes, que fueron identificados, son los que van experimentando cambios en su comportamiento y de cierta manera generan distorsión a la hora de obtener una curva



representativa de toda la serie. Por ello el ajuste final generados está en base a los valores de puntos de color azul, con lo cual se obtuvo la relación regional funcional que describe el comportamiento entre los parámetros hidráulicos. Para nuestro caso, se ha logrado obtener las expresiones siguientes:

- Para la relación entre el Perímetro de la sección y Área de la sección, el ajuste obtenido es de primer orden.
- Para la relación entre el Radio hidráulico y Área de la sección, el ajuste obtenido es de segundo orden.

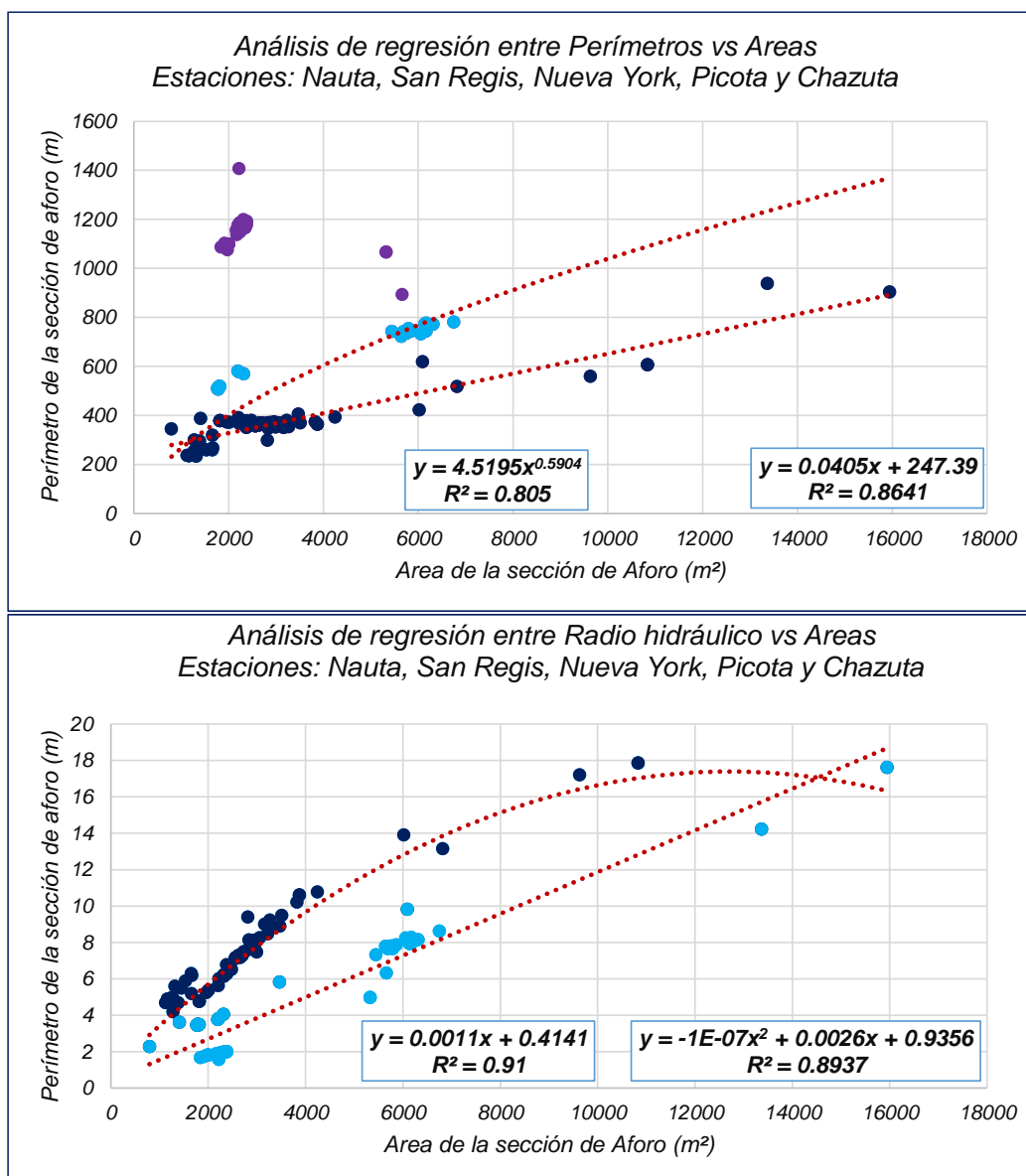


Figura 4-274. Análisis de regresión de los parámetros hidráulicos

Fuente: Elaboración propia

Para ambos casos, se ha logrado integrar los parámetros hidráulicos de las estaciones de aforo, con lo cual podemos conocer los procesos de evolución dinámicos de las condiciones hidráulicas del río Huallaga - Marañón desde la zona de Picota hasta Nauta.

## 4.7 Discusión

### 4.7.1 Caracterización del régimen de lluvias

La caracterización del régimen pluviométrico en la cuenca del río Marañón, en base PISCO producto precipitación mensual, se generan mapas climáticos mensuales de precipitación, se apreció que las concentraciones de los núcleo convectivos se centra n en el período de noviembre a abril, siendo los meses de enero, febrero y marzo, lo que registran los mayores aportes.

Esta dinámica atmosférica nos permite conocer los mecanismos de funcionalidad de una de las principales variables del ciclo hidrológico y la respuesta condiona de la cuenca a la generación del escurrimiento superficial y a los procesos de interacción con el ecosistema natural y antrópico.

### 4.7.2 Red de estaciones hidrológicas

En relación a la red observacional hidrológica instalada en la cuenca del río Marañón, esta registra una densidad muy limitada (19 estaciones) y que viene siendo operada por diferentes instituciones involucradas en el desarrollo de la cuenca del río Marañón. Las cuales se encuentran distribuidas en las subcuenca del río Huallaga y la subcuenca del río Marañón, presentando una variabilidad altitudinal que van desde los 800 msnm hasta los 100 msnm.

La cuenca del río Marañón, cuenta con 10 estaciones de aforo, ubicadas a los largo de la longitudinal de los ríos Marañón y Huallaga, en los cuales se han venido generando información desde el 2003, En cada uno de ellos se realzaron los aforos de manera periódica, con el apoyo del IRD – Francia, y la utilización de tecnología de punta como es el ADCP, que es un perfilador acústico el cual permite generar información de velocidad de la corriente, batimetría de la sección y a través de un software integra toda la información para determinar las características hidráulicas de la sección y el volumen de agua que circula por el río en el momento del aforo, todo ello en menos de 15 minutos. Lo que sería casi imposible con el método tradicional usando correntómetro y lastres de 50 o 100 kilos y/o winche electrónico.

#### **Estación Borja**

En esta estación se realizaron un total de 219 aforos, durante el período de 2003 / 2015, tanto en la época de vaciante como creciente, donde se generaron los parámetros hidráulico y el caudal que osciló entre 2009 m<sup>3</sup>/s y 12230 m<sup>3</sup>/s; alcanzado en promedio un volumen por unidad de tiempo de 6500 m<sup>3</sup>/s.

#### **Estación Chazuta**

En esta estación se realizaron un total de 173 aforos, durante el período de 2003 / 2015, tanto en la época de vaciante como creciente, donde se generaron los parámetros hidráulico y con caudales que oscilaron entre 953,90 m<sup>3</sup>/s y 9450,0 m<sup>3</sup>/s; alcanzado en promedio un volumen por unidad de tiempo de 4179,0 m<sup>3</sup>/s.

### **Estación Picota**

En esta estación se realizaron un total de 30 aforos, durante el período de 2003 / 2015, tanto en la época de vaciante como creciente, donde se generaron los parámetros hidráulico y con caudales que oscilaron entre 1253,00 m<sup>3</sup>/s y 9715,0 m<sup>3</sup>/s; alcanzado en promedio un volumen por unidad de tiempo de 4250,40 m<sup>3</sup>/s.

### **Estación Nueva York**

En esta estación se realizaron un total de 63 aforos, durante el período de 2003 / 2015, tanto en la época de vaciante como creciente, donde se generaron los parámetros hidráulico y con caudales que oscilaron entre 666,90 m<sup>3</sup>/s y 3815,00 m<sup>3</sup>/s; alcanzado en promedio un volumen por unidad de tiempo de 2536,99 m<sup>3</sup>/s.

### **Estación San Regis**

En esta estación se realizaron un total de 181 aforos, durante el período de 2003 / 2015, tanto en la época de vaciante como creciente, donde se generaron los parámetros hidráulico y con caudales que oscilaron entre 6467,00 m<sup>3</sup>/s y 26560,00 m<sup>3</sup>/s; alcanzado en promedio un volumen por unidad de tiempo de 18140,49 m<sup>3</sup>/s.

De la serie planteada para cada uno de los parámetros se aprecia una fuerte variabilidad en la distribución de los valores, especialmente para el período de aguas altas; generando un análisis muy detallado sobre el comportamiento temporal en la sección de aforo.

En términos generales, en cada una de las estaciones evaluadas, se ha podido desarrollar lo análisis para caracterizar las curvas entre los diferentes parámetros hidráulicos, nos han permitido encontrar relaciones funcionales y operativas que nos ayudaran a entender la dinámica fluvial del río y el comportamiento de su variabilidad especial y temporal. En dicho proceso se ha detectado valores que generan ciertos niveles de incongruencia en la distribución de los puntos, llevándonos a tener que depurar o simplemente no considerarlos al momento del ajuste de la curva mediante una expresión algebraica de primer orden; sin embargo, algunas relaciones funcionales presentan comportamiento polinómicos de segundo grado como es el caso del caudal con las velocidades superficiales y media.

#### **4.7.3 Sobre la variabilidad de la distribución vertical**

Lo que se buscó fue conocer como es el comportamiento y variabilidad de la distribución de la velocidad vertical, en cada una de las estaciones de aforo, desde la margen derecha hacia la margen izquierda, lo que nos permitió conocer además, la evolución de y el tipo de perfil de velocidades que predomina en las líneas de corrientes del río Marañón y Huallaga.

Para ello se recurrió a la base de datos generadas durante las campañas de aforo desarrolladas durante el período comprendido entre setiembre de 2003 hasta diciembre de 2015; habiéndose obtenido un total de 228 aforos, en cada uno se han generado 16 perfiles de velocidades verticales, lo que hace un total de aproximado de 3648 perfiles de velocidades verticales en la cuenca del río Marañón.

Lamentablemente no se cuenta con una base de datos de los valores de las velocidades por vertical no por secciones de aforo por lo cual se tuvo que recurrir a extraer la data manualmente desde el software WinRiver, que es utilizado en los aforos para almacenar los datos digitales que el ADCP va generando durante su proceso de traslado desde una margen hacia otra. Sabemos que hay manera de acceder a la data que genera el ADC; pero según investigaciones el SENAMHI por el momento no cuenta con dicho software.

Con la base de datos generada para los datos de velocidades verticales, para cada una de las estaciones seleccionadas, se procedió a desarrollar los análisis por cada una de las estaciones:

#### **Estación de Borja**

Los análisis generados han contemplado dos periodos el primero de Julio a Setiembre y el segundo de Febrero a Abril, donde se ha logrado caracterizar el comportamiento vertical y horizontal de la velocidad del agua en cada tramo de aforo. Los perfiles generados nos han permitido conocer que la velocidad tiene una distribución de tipo polinómica de cuarto grado, que permite describir el comportamiento de las líneas de corriente desde el lecho del río a la superficie. La velocidad máxima se registra aproximadamente a una profundidad equivalente al 50% de la profundidad de la máxima del río; sin embargo, se parecía una cierta variabilidad desde una margen hacia la otra, oscilando entre 11% y 40% de la profundidad.

En relación a la velocidad horizontal, se ha determinado que la sección hidráulica del río en el punto de aforo, tiene la forma triangular, ya que a medida que el perfil de velocidad horizontal, se va profundizando, el perfil se va concentrando en la parte central de la sección de aforo, indicador que la caja hidráulica va disminuyendo.

Durante el período de creciente, el régimen de velocidades no experimenta cambios significativos en el perfil vertical, manteniendo una distribución polinómica de cuarto grado; sin embargo, los máximos valores de velocidades se registran a una profundidad media de 37% de la profundidad total. En relación al perfil de velocidades horizontales, se muestra dos ojivas o cresta, a nivel superficial, siendo la de mayor velocidad la ubicada en la margen derecha del río, indicándonos que la sección hidráulica se encentra sesgada hacia esa margen por donde transita la mayor cantidad de volumen de agua.

#### **Estación de Chazuta**

Los análisis generados han contemplado dos periodos, el primero de Junio a Diciembre y el segundo de Enero a Marzo, donde se ha logrado caracterizar el comportamiento vertical y horizontal de la velocidad del agua en cada tramo de aforo. Los perfiles generados nos han permitido conocer que la velocidad tiene una distribución de tipo polinómica de cuarto grado, que permite describir el comportamiento de las líneas de corriente desde el lecho del río a la superficie. La velocidad máxima se registra aproximadamente a una profundidad equivalente al 50% de la profundidad de la máxima del río; sin embargo, se parecía una cierta variabilidad desde una margen hacia la otra, oscilando entre 30% y 50% de la profundidad.

En relación a la velocidad horizontal, se ha determinado que la sección hidráulica del río en el punto de aforo, tiene la forma trapezoidal, ya que a medida que el perfil de velocidad

horizontal, se va profundizando, el perfil se va concentrando en la parte central de la sección de aforo, indicador que muestra que la caja hidráulica va disminuyendo y centrándose en la parte media de la sección

Durante el período de creciente, el régimen de velocidades no experimenta cambios significativos en el perfil vertical, manteniendo una distribución polinómica de cuarto grado; sin embargo, los máximos valores de velocidades se registran a una profundidad media de 56% de la profundidad total. En relación al perfil de velocidades horizontales, muestra el mismo comportamiento, tanto a nivel superficial como a nivel de profundidad, indicándonos que la sección hidráulica se mantiene invariable en su forma.

### **Estación de Yurimaguas**

Los análisis generados han contemplado solo un período comprendido entre Julio y Diciembre, donde se ha logrado caracterizar el comportamiento vertical y horizontal de la velocidad del agua en cada tramo de aforo. Los perfiles generados nos han permitido conocer que la velocidad tiene una distribución de tipo polinómica de cuarto grado, que permite describir el comportamiento de las líneas de corriente desde el lecho del río a la superficie. La velocidad máxima se registra aproximadamente en la superficie del agua, sin embargo para los puntos ubicados hasta una distancia de 150 metros de la margen izquierda la máxima velocidad se presenta a una profundidad promedio de 33% de la altura de agua.

En relación a la velocidad horizontal, se ha determinado que la sección hidráulica del río en el punto de aforo, tiene la forma ligeramente triangular, ya que a medida que el perfil de velocidad horizontal, se va profundizando, el perfil se va concentrando hacia la margen izquierda de la sección, lo que nos indica que los mayores flujos de agua transitan por ese lado de la caja hidráulica.

Durante el período de creciente, el régimen de velocidades no experimenta cambios significativos en el perfil vertical, manteniendo una distribución polinómica de cuarto grado; sin embargo, los máximos valores de velocidades se registran a una profundidad media de 24% de la profundidad total. En relación al perfil de velocidades horizontales, muestra el mismo comportamiento, tanto a nivel superficial como a nivel de profundidad.

### **Estación de Nueva York**

Los análisis generados han contemplado solo un período comprendido entre Febrero a Mayo, donde se ha logrado caracterizar el comportamiento vertical y horizontal de la velocidad del agua en cada tramo de aforo. Los perfiles generados nos han permitido conocer que la velocidad tiene una distribución de tipo polinómica de cuarto grado, que permite describir el comportamiento de las líneas de corriente desde el lecho del río a la superficie. La velocidad máxima se registra aproximadamente a una profundidad media de 36% de la profundidad máxima de la sección; sin embargo si presenta variabilidad desde una margen hacia la otra variando entre 16% y 40%.

En relación a la velocidad horizontal, se ha determinado que la sección hidráulica del río en el punto de aforo, tiene la forma ligeramente trapezoidal con dos secciones, ya que a medida

que el perfil de velocidad horizontal, se va profundizando, el perfil se va concentrando en dos canales, siendo la mayor caja hidráulica la que se encuentra en la margen izquierda.

Durante el período de creciente, el régimen de velocidades muestran cambios significativos en las líneas de distribución de la corriente; sin embargo a pesar de ellos el perfil de velocidades ha sido ajustado a una distribución de cuarto grado; sin embargo, los máximos valores de velocidades se registran a una profundidad media de 65% de la profundidad total. En relación al perfil de velocidades horizontales, muestra el mismo comportamiento, tanto a nivel superficial como a nivel de profundidad, la única diferencias es la mayor disponibilidad hídrica en la sección.

#### **Estación de Picota**

Los análisis generados han contemplado dos períodos comprendido entre Junio a Agosto y de Febrero a Mayo, donde se ha logrado caracterizar el comportamiento vertical y horizontal de la velocidad del agua en cada tramo de aforo. Los perfiles generados nos han permitido conocer que la velocidad tiene una distribución de tipo polinómica de cuarto grado, permitiendo describir el comportamiento de las líneas de corrientes desde el lecho del río a la superficie. La velocidad máxima se registra aproximadamente a una profundidad media de 50% de la profundidad máxima de la sección; sin embargo, si presenta variabilidad desde una margen hacia la otra variando entre 30% y 50%.

En relación a la velocidad horizontal, se ha determinado que la sección hidráulica del río en el punto de aforo, tiene la forma ligeramente trapezoidal con dos secciones, ya que a medida que el perfil de velocidad horizontal, se va profundizando, el perfil se va concentrando en dos canales, siendo la mayor caja hidráulica la que se encuentra en la margen derecha del río.

Durante el período de creciente, el régimen de velocidades muestran cambios significativos en las líneas de distribución de la corriente, en relación al periodo de vaciante; sin embargo, a pesar de ellos el perfil de velocidades ha sido ajustado a una distribución de cuarto grado; registrándose los máximos valores de velocidades a una profundidad media de 50% de la profundidad total. En relación al perfil de velocidades horizontales, muestra el mismo comportamiento, tanto a nivel superficial como a nivel de profundidad, la única diferencias es la mayor disponibilidad hídrica en la sección.

#### **Estación de Santiago**

Los análisis generados han contemplado dos períodos comprendido entre Julio a Octubre y de Febrero a Mayo, donde se ha logrado caracterizar el comportamiento vertical y horizontal de la velocidad del agua en cada tramo de aforo. Los perfiles generados nos han permitido conocer que la velocidad tiene una distribución de tipo polinómica de cuarto grado, permitiendo describir el comportamiento de las líneas de corrientes desde el lecho del río a la superficie. La velocidad máxima se registra aproximadamente a una profundidad media de 38% de la profundidad máxima de la sección; sin embargo, si presenta variabilidad desde una margen hacia la otra variando entre superficial y 15%.

En relación a la velocidad horizontal, se ha determinado que la sección hidráulica del río en el punto de aforo, tiene la forma ligeramente triangular, ya que a medida que el perfil de velocidad horizontal, se va profundizando, el perfil se va concentrando en ligeramente a la derecha de la parte central.

Durante el período de creciente, el régimen de velocidades muestra un comportamiento uniforme en la distribución de la corriente; sin embargo, a pesar de ello el perfil de velocidades muestran niveles de cambios en flujo acentuado por los volúmenes de agua que transita por el cauce del río. El ajuste obtenido es una expresión polinómica de cuarto grado; registrándose los máximos valores de velocidades a una profundidad media de 8% de la profundidad total. En relación al perfil de velocidades horizontales, muestra el mismo comportamiento, tanto a nivel superficial como a nivel de profundidad, la diferencia es la mayor disponibilidad hídrica en la sección, originando que la carga hidráulica se ajuste hacia la margen derecha.

### **Estación de San Regis**

Los análisis generados han contemplado dos períodos comprendido entre Junio a Setiembre y de Febrero a Mayo, donde se ha logrado caracterizar el comportamiento vertical y horizontal de la velocidad del agua en cada tramo de aforo. Los perfiles generados nos han permitido conocer que la velocidad tiene una distribución de tipo polinómica de cuarto grado, permitiendo describir el comportamiento de las líneas de corrientes desde el lecho del río a la superficie. La velocidad máxima se registra aproximadamente a una profundidad media de 8% de la profundidad máxima de la sección; sin embargo, si presenta variabilidad desde una margen hacia la otra variando entre 9% y 58%.

En relación a la velocidad horizontal, se ha determinado que la sección hidráulica del río en el punto de aforo, tiene la forma ligeramente trapezoidal, ya que a medida que el perfil de velocidad horizontal, se va profundizando, el perfil se va concentrando en ligeramente a la izquierda de la parte central.

Durante el período de creciente, el régimen de velocidades muestra un comportamiento uniforme en la distribución de la corriente; sin embargo, a pesar de ello el perfil de velocidades muestran niveles de cambios en flujo acentuado por los volúmenes de agua que transita por el cauce del río. El ajuste obtenido es una expresión polinómica de cuarto grado; registrándose los máximos valores de velocidades a una profundidad media de 8% de la profundidad total. En relación al perfil de velocidades horizontales, muestra el mismo comportamiento, tanto a nivel superficial como a nivel de profundidad, la diferencia es la mayor disponibilidad hídrica en la sección, originando que la carga hidráulica se ajuste hacia la margen izquierda.

Finalmente, en relación a la variabilidad de la velocidad de la corriente es afectada básicamente por la caja hidráulica y la forma de la misma, ya que condiciona el desplazamiento de las líneas de corriente, y por ende la misma dinámica fluvial del río Marañón y Huallaga, hace que los perfiles de velocidades experimenten cambios en su distribución durante periodo de vaciante y creciente.



#### 4.7.4 Sobre Secciones Transversales

Los análisis de los aforos desarrollados, ha permitido conocer la variabilidad de las secciones transversales que el cauce del río sufre durante los procesos de las épocas de vaciante y creciente; es decir, cuando el régimen hidrológico del río experimenta cambios como consecuencias de las precipitaciones que se presentan en la cuenca.

Estos cambios según la dinámica fluvial del río, puede estar sujetos a procesos de erosión y sedimentación, los cuales se originan por cambios en el ecosistema desde el punto natural o como consecuencias de las actividades antrópicas que se puedan desarrollar en la cuenca.

Para nuestro caso, la información recopilada corresponde a las estaciones de aforo ubicadas en la cuenca del río Marañón y Huallaga, que en total suman cinco (05) distribuidas de la manera siguiente:

- Cuenca del río Huallaga, son tres
- Cuenca del río Marañón, son cinco

De las cuales sólo se han analizado seis, que en total abarcan una total de 228 datos de aforo, generado con el ADCP, permitiendo conocer su batimetría, base fundamental para desarrollar todo lo análisis que permita conocer las condiciones de la variabilidad de la sección y su tendencia.

Como resultado de esto, hemos determinado que la gran mayoría de las secciones presentan ciertos niveles de discrepancias que hacen ver que el cauce del río experimenta cambios importantes durante la época de vaciante y creciente; sin embargo, a pesar de ellos también es importante resaltar que durante las campañas de aforo, se han utilizado más de una sección de aforo, lo que queda establecido cuando las secciones presentan cambios muy gruesos que difícilmente se podrían explicar con procesos de erosión y sedimentación.

Otros de las posibles divergencias detectada en el análisis es que durante los procesos de aforo, la embarcación no logra mantener una línea recta transversal desde una de las márgenes hacia la otra, generando de esta manera distorsión en la topografía del cauce del río que pudiera interpretarse como procesos de la dinámica fluvial del río.

Entender que los cauces de los ríos, pueden ser rocosos, labrado directamente en sustrato litológico, pero son más frecuente los cauces aluviales, contruidos sobre los propios sedimentos transportados. La morfología y dimensión del cauce son modeladas y ajustadas por sobrantes energéticos que la corriente ya no invierte en transportar. Básicamente se puede considerar que el caudal geomórfico más efectivo es el cauce menor o canal fluvial completamente lleno (bankfull en la literatura internacional), que no genera procesos de disipación por desbordamiento, ya que es el proceso de máxima velocidad y energía de la corriente.

Son las crecidas ordinarias, por tanto, las que presentan una alta eficacia geomorfológica, y los cauces ajustan su forma para poder conducirlos entre sus orillas. Dichas pulsaciones y fluctuaciones del caudal regulan los intercambios ecológicos entre distintas unidades acuáticas y terrestres del hidrosistema fluvial, permitiendo de esta manera mantener los corredores ribereños. Esto no lleva a decir que un río es dinámico espacial y temporalmente, porque en cada momento su paisaje es una expresión de funcionamiento y de la historia del sistema, de su cuenca, de todos sus procesos climáticos, hidrológicos, geomorfológica y ecológica.

La dinámica fluvial es una combinación de procesos entre erosión, transporte y sedimentos. Lo que nos lleva a interpretar estos procesos como una dinámica longitudinal y vertical, generándose incisión o acreación en el cauce del río. La incisión es el encajamiento por la combinación de erosión lineal y remontante en el fondo del lecho fluvial; mientras que la acreación o colmatación es la tendencia al crecimiento o elevación del cauce menor, debido al predominio de la deposición sobre la erosión, y por lo general estos mecanismos se dan en cauces naturales, que al final se ven invertidas por actividades antrópicas (Ollero, O. A., 2008)

Por ello la dinámica fluvial, es importante no solo en el funcionamiento, sino en el valor ecológico, paisajístico y ambiental de los sistemas fluviales; lo que nos llevaría a proteger y conservar su dinámica hidrogeomorfológica, garantizando de esta manera un corredor ribereño que le permite funcionar correctamente como un sistema, es decir, cumplir sus funciones en la naturaleza.

En el análisis regional de los parámetros hidráulicos, se puede apreciar estos cambios y la misma dinámica fluvial del río Marañón y Huallaga, que se traduce en la variabilidad de los valores del área de la sección y su perímetro, apreciándose tres patrones de comportamiento que van desde aguas bajas, medias y altas, condicionando la respuesta de la cuenca a los aportes de precipitaciones.

El ajuste obtenido para cada uno de los tramos seleccionado, nos brinda información del comportamiento de cada una de los parámetros hidráulicos básico de la dinámica fluvial, logrando representar claramente los tipos de distribuciones que representan el período de vaciante y creciente, en la cuenca del río Marañón. Dichas expresiones, buscan describir la dinámica natural del río y su estado de equilibrio dentro de la misma naturaleza; sin embargo, estos cambios obedecen no solo a una componente natural sino además a factores antrópicos que de alguna manera alteran el equilibrio o la estabilidad relativa (Conesa, García, 1999). Estas alteraciones, sin duda están sujetas al propio desarrollo socioeconómico de las áreas, con actividades que consumen territorio (espacio fluvial), agua y sedimentos (áridos), y con procesos de cambios de la cobertura vegetal y el cambio climático que sin duda originaría un proceso masivo de ocupación de la cuenca amazónica de mantenerse estas alteraciones en el ciclo hidrológico (Ollero y Romeo, 2007).

## 5. CONCLUSIONES

- La red de medición de la precipitación no es la más adecuada para toda la cuenca del río Marañón, por lo cual consideramos importante que deba ser complementada secuencialmente en el transcurrir del tiempo.
- La red hidrológica instalada en la cuenca del río Marañón sólo están ubicadas en los principales puntos estratégicos que mide la descarga integrada tanto en la parte media y baja, por lo cual su variabilidad altitudinal oscila entre los 850 msnm y 85 msnm; debiendo ser importante fortalecerla para tener una mejor disposición espacial y temporal de la generación de la escorrentía superficial.
- Las relaciones funcionales entre las coordenadas de ubicación de cada una de las estaciones, obedece a un comportamiento polinómico de segundo grado permitiendo caracterizar su espacialidad en la cuenca.
- De la red de estaciones de aforo, que cuentan con datos, se tiene que las estaciones de San Regios, Borja y Chazuta son las que mayor veces se han realizado campañas, debido básicamente a que estas son las integradoras para los ríos Marañón y Huallaga.
- Las estaciones de Picota y Nauta, son las que menores campañas de aforo han tenido; sin embargo, su información es muy importante en los procesos de la caracterización de la hidráulica fluvial en la cuenca.
- A nivel de estaciones se han obtenido:
  - Estación Borja
    - Un total de 219 aforos dentro del período 2003 / 2015, registrándose las mayor cantidad durante los meses de marzo de 2007 y julio de 2005
    - La variabilidad altitudinal de la altura de mira oscila entre 7,05 m y 22,09 m, lo que nos da una amplitud de variación de 15,04 metros.
    - El rango de variación registrado en cada uno de los parámetros hidráulicos fueron:
      - Ancho de la sección fue de 210,10 metros,
      - Velocidad fue de 2,06 m/s
      - Perímetro de la sección fue de 207,10 m
      - Área de la sección fue de 2380,0 m<sup>2</sup>
      - Caudal en la sección fue de 10140,0 m<sup>3</sup>/s
    - Las curvas generadas para esta estación se ha caracterizado por presentar tendencias polinómicas en:
      - Altura de mira vs gasto
      - Altura de mira vs Área
      - Altura de mira vs velocidad superficial
      - Altura de mira vs velocidad media
      - Altura de mira vs ancho de la sección
      - Caudal vs área mojada

- Caudal vs velocidad superficial
  - Caudal vs velocidad media
  - Caudal vs radio hidráulico
  - La de tendencia lineal son:
    - Altura de mira vs Perímetro mojado
    - Velocidad superficial vs velocidad media
- Estación Chazuta
- Un total de 173 aforos dentro del período 2003 / 2015, registrándose las mayor cantidad durante los meses de febrero de 2013 y enero de 2015
  - La variabilidad altitudinal de la altura de mira oscilo entre 4,42 m y 15,10 m, lo que nos da una amplitud de variación de 10,68 metros.
  - El rango de variación registrado en cada uno de los parámetros hidráulicos fueron:
    - Ancho de la sección fue de 127,60 metros,
    - Velocidad fue de 2,40 m/s
    - Perímetro de la sección fue de 123,20 m
    - Área de la sección fue de 2185,80 m<sup>2</sup>
    - Caudal en la sección fue de 8496,10 m<sup>3</sup>/s
  - Las curvas generadas para esta estación se ha caracterizado por presentar tendencias polinómicas en:
    - Altura de mira vs Gasto
    - Altura de mira vs Perímetro mojado
    - Altura de mira vs Ancho de la sección
    - Caudal vs Velocidad superficial
    - Caudal vs Velocidad media
    - La de tendencia lineal son:
      - Altura de mira vs Área
      - Altura de mira vs Velocidad superficial
      - Altura de mira vs Velocidad media
      - Velocidad superficial vs Velocidad media
      - Altura de mira vs Radio hidráulico
      - Caudal vs Área mojada
      - Caudal vs Radio hidráulico
- Estación Picota
- Un total de 30 aforos dentro del período 2003 / 2015, registrándose las mayor cantidad durante los meses de diciembre de 2012 y abril de 2012.
  - La variabilidad altitudinal de la altura de mira oscilo entre 4,54 m y 10,90 m, lo que nos da una amplitud de variación de 6,39 metros.
  - El rango de variación registrado en cada uno de los parámetros hidráulicos fueron:
    - Ancho de la sección fue de 89,50 metros,
    - Velocidad fue de 1,20 m/s
    - Perímetro de la sección fue de 87,40 m
    - Área de la sección fue de 725,0 m<sup>2</sup>
    - Caudal en la sección fue de 8462,0 m<sup>3</sup>/s

- Las curvas generadas para esta estación se ha caracterizado por presentar tendencias polinómicas en:
  - Altura de mira vs gasto
  - Altura de mira vs velocidad superficial
  - Altura de mira vs velocidad media
  - Velocidad superficial vs Velocidad media
  - La de tendencia lineal son:
    - Altura de mira vs Área mojada
    - Altura de mira vs Perímetro mojado
    - Altura de mira vs Ancho de la sección
    - Altura de mira vs Radio hidráulico
    - Caudal vs Área mojada
    - Caudal vs Velocidad superficial
    - Caudal vs Velocidad media
    - Caudal vs Radio hidráulico
- Estación Nueva York
  - Un total de 63 aforos dentro del período 2003 / 2015, registrándose las mayor cantidad durante los meses de mayo de 2007 y febrero de 2009.
  - La variabilidad altitudinal de la altura de mira oscilo entre 9,86 m y 19,17 m, lo que nos da una amplitud de variación de 9,31 metros.
  - El rango de variación registrado en cada uno de los parámetros hidráulicos fueron:
    - Ancho de la sección fue de 84,20 metros,
    - Velocidad fue de 0,80 m/s
    - Perímetro de la sección fue de 84,40 m
    - Área de la sección fue de 1745,00 m<sup>2</sup>
    - Caudal en la sección fue de 3148,10 m<sup>3</sup>/s
  - Las curvas generadas para esta estación se ha caracterizado por presentar tendencias polinómicas en:
    - Altura de mira vs gasto
    - Caudal vs Velocidad superficial
    - Caudal vs Velocidad media
    - La de tendencia lineal son:
      - Altura de mira vs Área mojada
      - Altura de mira vs Perímetro mojado
      - Altura de mira vs Velocidad superficial
      - Altura de mira vs Velocidad media
      - Velocidad superficial vs Velocidad media
      - Altura de mira vs Ancho de la sección
      - Altura de mira vs Radio hidráulico
      - Caudal vs Área mojada
      - Caudal vs Radio hidráulico

- Estación San Regis
  - Un total de 181 aforos dentro del período 2003 / 2015, registrándose las mayor cantidad durante los meses de noviembre de 2008 y mayo de 2009.
  - La variabilidad altitudinal de la altura de mira oscilo entre 13,11 m y 25,85 m, lo que nos da una amplitud de variación de 12,71 metros.
  - El rango de variación registrado en cada uno de los parámetros hidráulicos fueron:
    - Ancho de la sección fue de 106,30 metros,
    - Velocidad fue de 1,23 m/s
    - Perímetro de la sección fue de 110,40 m
    - Área de la sección fue de 7478,00 m<sup>2</sup>
    - Caudal en la sección fue de 20093,00 m<sup>3</sup>/s
  - Las curvas generadas para esta estación se ha caracterizado por presentar tendencias polinómicas en:
    - Atura de mira vs Velocidad superficial
    - Altura de mira vs Velocidad media
    - Caudal vs Velocidad superficial
    - Caudal vs Velocidad media
    - La de tendencia lineal son:
      - Altura de mira vs Caudal
      - Altura de mira vs Área mojada
      - Altura de mira vs Perímetro mojado
      - Velocidad superficial vs Velocidad media
      - Altura de mira vs Ancho de la sección
      - Altura de mira vs Radio hidráulico
      - Caudal vs Área mojada
      - Caudal vs Radio hidráulico
- Se ha logrado caracterizar cada uno de los parámetros hidráulicos de las estaciones hidrológicas de aforo, permitiendo con ellos poder inferir no solo el comportamiento hidrológico de os ríos sino su propia dinámica fluvial y los procesos hidrogeomorfológicos que experimenta la cuenca durante cada período del ciclo hidrológico.
- La relevancia del tema, está centrada en que la cuenca Amazónica es un ecosistema frágil que viene experimentando cambios en su ecosistema, como producto de los factores antrópicos que se viene desarrollando en su ambiente, trayendo como consecuencia la recurrencia de años secos y húmedos, poniendo en lata vulnerabilidad su sostenibilidad.
- No se cuenta con una base de datos digital de la distribución de las velocidades en las secciones de aforo, generadas por el equipo de ADCP, viéndonos obligado a tener que extraer manualmente de las gráficas batimétricas que genera el equipo de aforo.
- Las secciones no cuentas con cotas absolutas para desarrollar análisis de comparación y regionalización de la variabilidad de los niveles del río.

- Los análisis desarrollados nos ha permitido conocer cómo se comporta la distribución de la velocidad vertical, por cada tramo, desde la margen derecha a la izquierda.
- Los perfiles de distribución de velocidad se ajustan significativamente a una distribución de tipo polinómica de cuarto grado en el 99% de los análisis generados.
- La velocidad máxima por lo general se presenta por debajo de la superficie de agua a una distancia aproximada de 40% de la altura máxima de la corriente.
- Las secciones hidráulicas de las estaciones de aforo, tienden a fluctuar desde el tipo triangular hasta el trapezoidal. En muchas de las secciones de aforo, la caja hidráulica tiende a ajustarse hacia una de las márgenes del río, formando en dicho punto el canal principal de tránsito de los flujos de agua.
- En relación a la velocidad horizontal, se ha determinado su variabilidad y característica, condicionada por la caja hidráulica del río y época de vaciante y creciente.
- experimenta cambios entre desde la parte del lecho del río hasta la superficie.
- La variabilidad de las velocidades máximas de la corriente por debajo de la superficie, a diferentes profundidades, no indica que las secciones hidráulicas presentan corriente internas de fuerte intensidad por la misma estructura hidráulica de la sección.
- Para el período 2003 – 2015, se han obtenido un total de 228 perfiles de las secciones y en la sub cuenca del río Huallaga, los cuales se han distribuido de manera balanceada entre el período de vaciante y creciente.
- La estación con el mayor número de perfiles de las secciones es San Regis con un 47%, mientras que la menor es Nueva York con 5%.
- Para la estación del Borja, se encontró que en el proceso de aforo, se utilizaron dos tipos de secciones hidráulicas:
  - Para el período de vaciante, cuya forma triangular, obteniéndose un perfil promedio, a través de ocho (08) secciones medidas.
  - Para el período de creciente, con forma rectangular, obteniéndose un perfil promedio, a través de veinte seis (26) secciones medidas.
  - Para ambos casos, se observó que las secciones presentan ligeras discrepancias en relación a su promedio, lo que nos indicaría de cierta manera procesos dinámicos en el cauce del río, sujeto a erosión o colmatación.
  - Los desfases entre las secciones, también están sujetos a la falta de una linealidad en el transecto durante el aforo, por la embarcación, lo que ocasiona que el perfil sufra variaciones que den a entender cambios hidráulicos.
  - En promedio las diferencias en las áreas, fluctúan entre -35,0% y 8,0%, para el período de vaciante y entre -47,0 % y 16,0% para el período de creciente.
  - Estas diferencias entre las secciones hidráulicas y su promedio, se han registrado principalmente en las paredes laterales y en el lecho del río.



- Para la estación Chazuta, se encontró que en el proceso de aforo, se utilizó una sola secciones hidráulicas, cuya forma se asemeja a un rectángulo, en ambos períodos:
  - Para el período de vaciante se determinó una sección promedio con 09 perfiles.
  - Para el período de creciente, el promedio de la sección se determinó con 23 perfiles.
  - En el perdido de creciente, se identificó dos tipos de secciones las cuales presentan cierta similitud, en relación con el lecho del río; sin embargo, en las paredes laterales existe cierta discrepancia, lo que diera a entender que posiblemente sea otra sección hidráulica utilizada.
  - En promedio las diferencias en las áreas, Fluctúan entre -56,0% y 29,0%, para el período de vaciante y entre -20,0 % y 14,0% para el período de creciente.
  - Los desfases registrados en el período de vaciante son muy ligeros y especialmente en la margen derecha e izquierda del río.
  - Para el período de creciente, las secciones mantienen cierta uniformidad en su forma, pero siempre se registra diferencias en las márgenes del río.
  - En relación a la dirección de la velocidad del bote, se ha detectado ligeras discrepancias en la linealidad del transecto, lo que podría sustentar las discrepancias entre las secciones evaluadas.
- Para la estación Picota, se encontró que en el proceso de aforo, se utilizaron dos secciones hidráulicas, cuya forma rectangular permite al tránsito de los volúmenes de agua generada por la cuenca.
  - Para el período de vaciante se determinó una sección promedio con cinco (05) perfiles, mientras que en el período de creciente solo se obtuvo un solo perfil.
  - En promedio las diferencias detectadas para las áreas de las secciones, Fluctúan entre -27,0% y 10,3%.
  - Las mayores discrepancias entre las secciones, se presentan en la parte del lecho del cauce del río, lo que pudiera estar condicionada a problemas de erosión.
  - Al analizar las direcciones de la velocidad del botes, se observó que estas no presentan linealidad en le transecto desde una margen hacia la otra, lo que pudiera ser la causa de las discrepancias entre las secciones obtenidas, aunque de todas manera hay procesos de erosión y colmatación desde el punto de vistas natural de la misma dinámica fluvial del río.
  - En relación a la dirección de la velocidad del bote, se ha detectado ligeras discrepancias en la linealidad del transecto, lo que podría sustentar las discrepancias entre las secciones evaluadas.
- Para la estación Nueva York, se encontró que en el proceso de aforo, se utilizaron dos secciones hidráulicas, cuya forma trapezoidal permite al tránsito de los volúmenes de agua generada por la cuenca.
  - Para el período de vaciante se determinó una sección promedio con nueve (09) perfiles, mientras que en el período de creciente solo se obtuvo tres (03) perfil.
  - Durante el período de vaciantes, las secciones hidráulicas presentan variaciones que en promedio oscilan entre -16,0% y 23,0%.

- Las discrepancias detectadas, entre las secciones y su promedio, están centradas básicamente en toda la sección del cauce del río.
- Para el período de crecientes, estas discrepancias entre las -10,0% y 13,0%.
- Las secciones analizadas, para el período de creciente presenta cierta uniformidad en el lecho del río; sin embargo; las discrepancias se nota en las paredes laterales del cauce del río.
- En relación a la dirección de la velocidad del bote, apreciamos que presenta cierta linealidad en su trayectoria; sin embargo, se considera que no es la más adecuada, por los procesos detectados en los perfiles.
- Para la estación San Regis, se encontró que en el proceso de aforo, se utilizó una sola sección hidráulica, cuya forma trapezoidal permite al tránsito de los volúmenes de agua generada por la cuenca.
  - Para el período de vaciante se determinó una sección promedio con quince (15) perfiles, mientras que en el período de creciente se generaron cuarenta (40) perfil.
  - Durante el período de vaciantes, las secciones hidráulicas presentan variaciones que en promedio oscilan entre -10,0% y 12,0%.
  - Las discrepancias detectadas, entre las secciones y su promedio, están centradas básicamente en el lecho del río, lo que nos indicaría que está sujeto a una dinámica fluvial por procesos de erosión y colmatación.
  - Para el período de crecientes, la sección hidráulica presenta discrepancias que oscilan están entre -46,0% y 34,0%.
  - Las secciones analizadas, para el período de creciente presenta discrepancias en el lecho del río; lo que nos confirmaría la dinámica fluvial asociada a procesos de erosión y colmatación básicamente.
  - En relación a la dirección de la velocidad del bote, apreciamos que existe una variabilidad en linealidad en la trayectoria, lo que podría condicionar la presencia de las discrepancias en las secciones; sin descartar la dinámica fluvial natural del río.
- Para la estación Nauta, se encontró que en el proceso de aforo, se utilizó dos tipos de sección hidráulica, cuya forma trapezoidal permite al tránsito de los volúmenes de agua generada por la cuenca.
  - Para el período de vaciante se determinó una sección promedio con seis (06) perfiles, mientras que en el período de creciente se generaron cinco (05) perfil.
  - Durante el período de vaciantes, las secciones hidráulicas presentan variaciones que en promedio oscilan entre -3,1% y 11,0%.
  - Las discrepancias detectadas, son muy significativas ya que las secciones de aforo utilizadas son diferentes en todo el período de análisis.
  - Para los aforos de los días 15/04/2012 y 29/04/2013, se muestras cierta similitud en las secciones con su promedio; sin embargo hay ligeras discrepancias especialmente en el lecho del río.
  - Para el aforo del día 16 de diciembre de 2013, la sección mostrada es muy diferentes al promedio.
  - En relación a la dirección de la velocidad del bote, apreciamos que existe una variabilidad en la linealidad en la trayectoria, lo que podría condicionar la presencia

de las discrepancias en las secciones de alguna manera sin descartar la dinámica fluvial natural del río.

- En la regionalización de los parámetros hidráulicos, se ha considera dos aspectos importantes en el análisis: el tramo comprendido entre los ríos Marañón – Marañón y el tramo comprendido entre los ríos Huallaga – Marañón.
  - Para el tramo Marañón - Marañón, las estaciones consideradas en el análisis fueron: Nauta, San Regis, Nueva York y Borja, haciendo en total 112 aforos generado durante *el período 2003 / 2015*.
    - De la serie planteada se observó que en la estación de San Regis se registraron valores superiores (13-06-2009 al 16-05-2013) a los registrados durante el período de vaciante.
    - La relaciones funcionales de los parámetros hidráulicos de Perímetro y Área de la sección nos ha permitido obtener expresiones algebraicas que describen el comportamiento durante los dos período analizados (vaciante y creciente), siendo los ajustes bien significativo.
    - Para el caso entre el Radio hidráulico y el área de la sección, también se obtuvieron buenos ajustes para la distribución de los puntos planteados, permitiendo de esta manera poder explicar el comportamiento entre las variables analizadas.
  - Para el tramo comprendido entre los ríos Huallaga – Marañón, se utilizaron las estaciones de Nauta, San Regis, Nueva York, Chazuta y Picota, haciendo un total de 116 aforos generados durante el período de 2003 / 2015.
    - De la serie planteada, apreciamos que tanto los datos de las estaciones de San Regis y Picota, registran valores ligeramente superiores a la serie normal.
    - La relaciones funcionales de los parámetros hidráulicos de Perímetro y Área de la sección nos ha permitido obtener expresiones algebraicas que describen el comportamiento durante los dos período analizados (vaciante y creciente), siendo los ajustes bien significativo.
    - Para el caso entre el Radio hidráulico y el área de la sección, también se obtuvieron buenos ajustes para la distribución de los puntos planteados, permitiendo de esta manera poder explicar el comportamiento entre las variables analizadas.
- En términos generales, podríamos decir que las secciones hidráulicas de los ríos Marañón y Huallaga, registran comportamiento variables en su dinámica fluvial, conllevado por procesos naturales de su misma dinámica como por acción de las actividades antrópicas que se desarrolla en la parte media y alta de la cuenca.

## 6. RECOMENDACIONES

Es necesario contar con una base de datos de aforo, debidamente procesada y georreferenciadas, por ello se sugiere que en adelante todas las estaciones hidrológicas y de aforo este con una cota absoluta de referencias para los análisis de la hidráulica fluvial en los ríos amazónicos, principalmente, las cotas absolutas, permitirá que los valores generados durante los aforos puedan ser fácilmente comparables y definir claramente los cambios hidrogeomorfológicos que se viene sucediendo desde una componente natural y por acciones o mecanismo antrópicos.

Se debe contar con una base de datos integradas todos los aforos que se viene desarrollando en la cuenca amazónica, permitiendo con ello tener una idea clara de cómo va evolucionando la hidrogeomorfología de la cuenca del río Amazonas y su dinámica fluvial ante los procesos de erosión y colmatación que se originan.

Es importante mantener operativo el análisis de la hidráulica fluvial de los ríos Amazónico; debido a su dinámica fluvial, desde el punto de vista natural como antrópico, lo que viene generando ciertos niveles de cambio y fuerte repercusiones ambientales por los eventos extremos que se están acentuando año tras año.

Planificar campañas de aforo de manera estratégica a fin de consolidar toda la información bajo un esquema de análisis integral que permita hacer seguimiento a las anomalías hidrometeorológicas que se vienen presentando en la cuenca amazónica.

Diseñar una base de datos velocidades de la corriente obtenido a través de los aforos con el ADCP, permitiendo de esta manera tener información para analizar la variabilidad en relación a las condiciones hidráulicas e hidrológicas en la cuenca así como definir patrones de cambio en el régimen de velocidades.

La necesidad de caracterizar los perfiles de velocidades en el río, nos llevara a entender la dinámica fluvial, en sus procesos de erosión y colmatación y determinar su evaluación espacial y temporal. Por lo que es necesario realizar análisis periódicos.

La Dirección de hidrología, debe impulsar la manera de fijar las secciones de aforo como únicas en los procesos de las campañas de medición de caudales y batimetría, esto es muy importante porque nos permitirá tener seguridad en las mediciones y en el análisis relacionados hacia la dinámica fluvial de los ríos Amazónicos.

Mantener operativo los análisis de la dinámica fluvial del río Amazonas, y determinar la evolución de los procesos de erosión y sedimentación, complementando las campañas de aforo con mediciones de sedimentos en suspensión.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, E. (2008). Análisis de Regresión. Mayaguez - Puerto Rico: Departamento de Matemáticas -Universidad de Puerto Rico.
- AMS. (2000). American Meteorological Society Glossary. USA: Allen Press, Lawrence K.S.
- ANA. (2008). Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Perú. Lima: ANA.
- Antamba, J. (2012). Geometría Analítica - Traslación y rotación de ejes y Determinación de Curvas. Quito - Ecuador: EPN.
- AproTec. (03 de Agosto de 2017). Aprotectmexicana. Obtenido de Aprotectmexicana: <http://www.aprotecmexicana.com/catalogo?p=sontek-riversurveyor-m9>
- Armijos Cardenas, E. N. (2010). Cuantificación de Flujos Sedimentarios de la cuencas Amazónicas de Perú. UNALM, 80.
- Armijos, Elisa; Crave, Alai; Vauchel, Philippe; Pascal, Fraizy; Santini, William; MOquet, Jean-Sebastien; Arevalo, Nore, Carranza, Jorge and Guyot, Loup, Jean. (2013). Suspend sediment dynamics in the Amazon River of Peru. Journal of South American Earth Sciences, 1 - 10.
- Ballarín, Ferrer, Daniel y Rodriguez, Muñoz, Ignacio. (2013). Hidromorfología Fluvial. Valladolid: Confederación Hidrográfica del Duero.
- Barlow, M. N. (2001). ENSO, Pacific Decadal Variability, and U.S. Summertime Precipitation, Drouyght, and Stream Flow. J. Climate, 2105 -2128.
- BBC. (2012). Los planes hidroeléctricos que pueden poner en riesgo a la Amazonía. BBC Mundo.
- BCRP. (2008). Informe Económico y Social de la Región San Martín. Lima: BCRP.
- Bateman, Allen (2015). Aforo de perfiles de velocidades y pendiente motriz. Universidad Politecnica de Cataluña. Barcelona - España. 23 paginas.
- Bates, H.W. 1863. The naturalist on the River Amazon. London: John Murray.
- Begay, Lyles, C. 2012. Fluvial Geomorphology. <https://riverrestoration.wikispaces.com/>
- Betts, A. K. 2007. Understanding hydrometeorology using global models. American Meteorologic Society, 1673 - 1688.
- Botta, A., and J. A. Foley, 2002. Effects of climate variability and disturbances on the Amazonian terrestrial ecosystems dynamics, Global Biogeochemical Cycles, 16, 1070, doi:10.1029/2000GB001338.
- Betts, A. K. (2007). Understanding hydrometeorology using global models. American Meteorologic Society, 1673 - 1688.
- Cabrera, L. R. (1943). Características geomorfológicas de los ríos Amazónicos. Sociedad Geológica del Perú, 28 - 58.
- cambioclimaticoglobal. (15 de Octubre de 2016). Cambio ClimáticoGlobal.com. Obtenido de Cambio ClimáticoGlobal.com: [www.cambioclimaticoglobal.com](http://www.cambioclimaticoglobal.com)
- Cárdenas, J. S. (2008). Atmósfera, Tiempo y Clima. Lima: MeteoroPerú.
- CHA, C. h. (2008). Estudio de la navegabilidad de los río Marañón y Amazonas. Lima: Ministeriod e Transporte y Comunicaciones.
- Choat, B., et al. 2012, Global convergence in the vulnerability of forests to drought, Nature, 491(7426), 752.
- COFOPRI. (2006). Demarcación y Titulación de Comunidades Nativas. Lima: COFOPRI.

- concepto definicion. (9 de Marzo de 2014). concepto definicion. Obtenido de concepto definicion: [www.concepto definicion.de](http://www.concepto definicion.de)
- Conesa García, C. Cambio ambiental y equilibrio dinámico de los cauces. Papeles de Geografía, 1999, N° 30, p. 31-46.
- CORREO. (12 de Febrero de 2016). BAgua: Alarma por contaminación de petróleo en río Marañón y Chiriaco. Diario Correo.
- Cox, P. M. (2004). Amazonian forest dieback under climate carbon cycle projections for the 21 st century. Theoretical and Applied Climatology, 78, 137 - 156.
- D. Guarín y J. J. Taboada. (2010). Influencia de los diferentes patrones de teleconexión en el Atlántico Norte sobre la lluvia y precipitación en Galicia (No España). ACT 1, 81 - 94.
- DHN. (2006). VARIaciones morfológicas del río Amazonas en Iquitos. Iquitos: DHN.
- Doll, B.A., Dobbins, A.D., Spooner, J., Clinton, D.R., Bidelsbach, D.A., 2003. Hydraulic Geometry Relationships for Rural North Carolina Coastal Plain Streams. N. C. Division of Water Quality for 319 Grant Project NOEW20011.
- Dunne, T., Leopold, L.B., 1978. Water in Environmental Planning. W. H. Freeman, Co., New York.
- Emmett, W.W., 1975. The channels and waters of the upper Salmon River, Idaho. U.S. Geological Survey Professional Paper: 870A.
- Durand, E. (2006). El Perú Frente al Cambio Climático. Lima: Minam.
- Elosegi, Arturo y Sabater, Sergi. (2009). La estructura física de los cauces fluviales. En A. y. Elosegi, Conceptos y Técnicas en Ecología Fluvial (pág. 76 y 77). Barcelona: Fundación BBVA.
- Enfield, D. M.-N. (2001). The Atlantic Multidecadal Oscillation and its Relation to Rainfall and River Flow in the Continental US. Geophys, 2077 - 2080.
- GESTION. (17 de Mayo de 2014). Gobierno declara en emergencia ambiental la cuenca del río Marañón por contaminación petrolera. GESTION.
- González, J. P. (2006). Cálculo Diferencial e Integral - Departamento de Análisis Matemático. Granada: Universidad de Granada.
- GORELIMA. (2013). Plan Regional de Prevención y Atención de Desastres de la Región Lima - 2007-2012. Lima: GORELIMA.
- Guyot Loup, Jean; Bazan, Hector; Fraizy, Pascal; Ordoñez, Juan Julio; Armijos, Elisa y Laraque, Alain. (2007). Suspended sediment yields in the Amazon basin of Peru: a first estimation. Water Quality and Sediment BEhaviour of the Future, 1 - 8.
- Fearnside, Philip M., 2008. Climate and Changes in Brazilian Amazonia. National institute for Research in Amazonia (INPA), C.P. 478 69.011-970 Manaus- Amazonas. Brazil. HYPERLINK "<mailto:pmfearn@inpa.gov.br>" pmfearn@inpa.gov.br .
- HYPERLINK "[http://www.boell.de/downloads/oekologie/beitrag\\_fearnside\\_engl.pdf](http://www.boell.de/downloads/oekologie/beitrag_fearnside_engl.pdf)" [http://www.boell.de/downloads/oekologie/beitrag\\_fearnside\\_engl.pdf](http://www.boell.de/downloads/oekologie/beitrag_fearnside_engl.pdf) .
- Foley, J. A., A. Botta, M. T. Coe, and M. H. Costa, 2002. El Niño–Southern oscillation and the climate, ecosystems and rivers of Amazonia, Global Biogeochem. Cycles, 16(4), 1132, doi:10.1029/2002GB001872.
- Horel, J. D. y A. Cornejo - Garrido. 1986. Convection along the coast of northern Peru 1983: spatial and temporal variations of clouds and rainfall. Monthly Weather Review 114:2091-2105.
- Huggett, Richard Jhon, 2007. Fundamentals of Geomorphology. Segunda Edición

- HidroLógica, ING. (2015). Aforos líquidos y sólidos realizados para Weg Ingeniería en el río Meta y dos de sus afluentes (Upía y Manacacías). PAra Weg Ingeniería. Medellín - Colombia 22 paginas.
- Hill, D. (2015). Los proyectos de mega-represas de Perú amenazan la caída del río Amazonas y ecosistemas. Mongabay.
- Hoffman, Laura y Mendez, Ana. (2016). Papel de las Teleconexiones climáticas en la variabilidad climática de la P.I. Madrid: INMET.
- Huamani, J. C. (2008). Programa DROUGHTS.FOR versión1. Lima: SENAMHI.
- INDECI. (2015). Erosión afecta localidad de San Lorenzo, distrito de Barranca, provincia Datem del río Marañón - Loreto. Lima: COE.
- INEI. (2007). CENSO. Lima: INEI.
- info región. (16 de Agosto de 2012). Info región. Recuperado el 15 de Agosto de 2013, de [www.inforegion. pe](http://www.inforegion.pe)
- INRENA-PROCLIM. (2005). La Deforestación en el Perú. Lima: Fundación Manuel J. Bustamante de la Fuente.
- IPCC. (2007). Summary for Policimakers, in Climate Change: Impacts, Adapataion and Vulnerability Contribution of Workin Group II to The Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University.
- IPCC, OMM, PNUD. (2014). Cambio Climático 2014 - Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. En C. B. Barros, Contribución el Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Gupo Intergubenalmental ed Expertos sobre el Cambio Climático (pág. 5). Suiza: IPCC.
- IPCC. 2007. Summary for Policimakers, in Climate Change: Impacts, Adapataion and Vulnerability Contribution of Workin Group II to The Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University.
- Jonkers, Laurence, 2012. Diagnóstico de Uso de Recursos Naturales y Problemática Ambienata en la Comunidad Campesina de Huachón, Departamento de Pasco, Perú. Tesis de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural, Ingeniería de Montes - Universidad Politécnica de Valencia, España, 90pp.
- Kerr, R. A. (2000). A NOrth Atlantic Climate Pacemaker for the Centuries. Science, 1984 - 1986.
- Killeen, J. T. (2008). Conservation Strategies to Mitigate Impacts from Climate Change in Amazonia. Philosophical Transactions - The Royal Society B, 1881 - 1888.
- Killeen, T. J., & Luis A., S. (2008). Conservation strategies to mitigate impacts from climate change in Amazonia. Philosophical Transactions of Royal Society B, 1881 - 1888.
- Knight, J. R. (2006). Cliamte Impacts of the Atlantic Multidecadal Oscilation. Geophys.
- Lane, E.W. 1955. The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering. Proceedings of the American Society of Civil Engineers 81(745): 1-17.
- Leopold, L.B., Maddock, T., 1953. The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications. U.S. Geological Survey Professional Paper: 252
- Leopold, L.B., Wolman, M.G., Miller, J.P., 1964. Fluvial Processes in Geomorphology. Dover Publications, New York.
- Keaton, J.N., Messinger, T., Doheny, E.J., 2005. Development and Analysis of Regional Curves for Streams in the Non-Urban Valley and Ridge Physiographic Province, Maryland, Virginia, and West Virginia. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report: 2005-0576. p. 116.



- Keller, M., M. Bustamante, J. Gash, and P. Silva Dias (Eds.). 2009. Amazonia and Global Change, Geophys. Monogr. Ser., vol. 186, 565 pp., AGU, Washington, D. C., doi:10.1029/GM186.
- Killeen, J. T. 2008. Conservation Strategies to Mitigate Impacts from Climate Change in Amazonia. Philosophical Transactions - The Royal Society B, 1881 - 1888.
- Killeen, T. J., & Luis A., S. 2008. Conservation strategies to mitigate impacts from climate change in Amazonia. Philosophical Transactions of Royal Society B, 1881 - 1888.
- Lewis, S. L., P. Brando, O. L. Phillips, G. Van der Heijden, and D. Nepstad. 2011. The 2010 Amazon Drought, Science, 331(6017).
- López, R. O. (2011). Medición, Técnicas e Instrumentos de Investigación. Lima: <http://es.slideshare.net/oscarlopezregalado/instrumentos-de-investigacin-9217795>.
- Mantua, N. (2000). PDO Index. <http://jisao.washington.edu/pdo/>.
- Mantua, N. (2001). The Pacific Decadal Oscillation, In: Encyclopedia of global Environmental Change. John Wiley & Sons, Inc.
- Mantua, N. J. (1997). A Pacific decadal climate oscillation with impacts on salmon. Bulletin of the American Meteorological Society, 78, 1069 - 1079.
- Marengo, J. A. (2004). Climatology of the LLJ east of the Andes as derived from the NCEP Reanalysis. Journal of climate 17, 2261 - 2280.
- Margin, G. C. (2007). Latin America, in Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University.
- Marmanillo, L. (2016). El río Marañón y la Amazonía en peligro por más de 20 proyectos hidroenergéticos. Altavoz.
- Mateu, L. (2000). Apuntes de computación - Universidad de Chile. Santiago: UChile.
- Media, Lucio, Allcca y Ochoa, Zubiarte, Magdie. (2010). Variaciones morfológicas del río Amazonas y susceptibilidad a inundaciones en los alrededores de la ciudad de Iquitos. Lima: INGEMMET.
- McClain, M. E.; Naiman, R. J. 2008 Andean influences on the biogeochemistry and ecology of the Amazon river. BioScience Vol. 58, Nr. 4, 325-338.
- McGee, W. J. 1888 The geology of the head of Chesapeake Bay. Annual Report of the United States Geological Survey 7, 537-646.
- MTC, 2004. Estudio de la Navegabilidad del río Ucayali en el tramo comprendido entre Pucallpa y la confluencia con el río Marañón. Vol III. Estudio de la Hidráulica Fluvial – H&O - ECSA
- MEM. (2011). Potencial Eléctrico del Perú. Lima: MEM.
- MINAG. (2000). Deforestación de la Amazonía Peruana. Lima: MINAG.
- MINAG-DGFFS. (2012). Estadística Forestal del Perú (2000 - 2010). Lima: DICFFS.
- MINAM. (2008). Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques. Lima: MINAM.
- MINEM. (2011). Comisión Nacional para el Desarrollo Energético y Agrario del río Marañón. Lima: MINEM.
- MINEM. (2011). Potencial Eléctrico del Perú. Lima: MEM.
- MINEM, M. d. (2011). Declaran de Interés nacional y social la construcción de veinte (20) centrales hidroeléctricas en la cuenca del río Marañón. Normas Legales, 441586.
- Nepstad, C. D. (2007). Los Ciclos Viciosos de la Amazonía. WWF internacional.

- Nepstad, D. (1999). Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*, 505 - 508.
- Nieto, J. A. (2015). *Funciones Cuadráticas. Parábola*. Almería: IESALYANUB.
- Nieves, E. M. (2007). *Reseña Histórica sobre La Integración*.
- Nigam, S. B. (1999). Analysis Link Pacific Decadal Variability to Drought and Streamflow in United States. *EOS*, 51.
- Nigam, S. H. (2003). Teleconnections. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*, Academic Press, núm. 5, 2243 - 2269.
- NOAA. (30 de Agosto de 2013). Global Change Master Directory. Recuperado el 30 de Agosto de 2013, de [http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD\\_NOAA\\_NWS\\_CPC\\_SOI.html](http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD_NOAA_NWS_CPC_SOI.html)
- Null, J. (2002). El Niño has a weather-marking partner: Pacific Decadal Oscillation. In: San José Mercury News.
- Ollero, Ojeda, Alfredo, 2008. Algunos apuntes sobre la dinámica fluvial: los ríos actuales como resultado de su propia libertad y de la intervención humana en sus riberas. Fundación Nueva Cultura del Agua. Zaragoza. Pp. 21.
- Ollero Ojeda, A. y Romero García, R. Alteraciones geomorfológicas de los ríos. En: GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M. *Estrategia Nacional de Restauración de Ríos*. Madrid: Subdirección General de Gestión Integrada del Dominio Público Hidráulico (Ministerio de Medio Ambiente) y UPM, 2007, p. 187-224.
- OTCA. (2007). Proyecto GEF Amazonas - Desarrollo poblacional en la Amazonía. OTCA.
- P, C. (23 de 11 de 2012). Alltravels. Recuperado el 16 de 08 de 2013
- Panel Intergubernamental sobre Cambio climático, I. (2001). *Cambio climático 2001: Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. IPCC.
- Pérez, Morales, Guillermo B.; Rodríguez Castro, Jesús A. y Molina, Aguilar, Juan P. (2014). Ingeniería de Ríos. En G. B. Morales, & J. A. Rodríguez Castro, *Ingeniería de Ríos* (págs. 11 - 12). México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Perú, C. d. (1978). Ley Nº 22175 de Comunidades Nativas y de Desarrollo Agrario de la Selva y Ceja de Selva. Lima: Congreso de la República del Perú.
- Pepper, Maja, 2016. *Fluvial Geomorphology*. Argyll Fisheries Trust. SFCC
- Phillips, O. L., et al. 2009, Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest, *Science*, 323(5919), 1344-1347.
- Posada, L. (1994) "Transporte de Sedimentos". Posgrado en Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia. Medellín: [s.n].
- Pulso, 2013. Declaran emergencia ambiental en Amazonas peruano. Lunes 25 de marzo de 2013. <http://pulsoslp.com.mx/2013/03/25/declaran-emergencia-ambiental-en-amazonas-peruano/>.
- Rao, V. B., P. Satyamurty, and J.I.B. Brito. 1986. On the 1983 Drought in Northeast Brazil. *J. Clim.* 6, 43 - 51.
- PNUD. (2007). *Desarrollo Humano en el Perú*. Lima: PNUD.
- Rosgen, D. (1996). *Applied river morphology*. Pagosa Springs, Colorado: Wildland Hydrology.
- Rowell, A. a. (2000). *Global Review of Forest Fires*. WWW nad IUCN, 2000 - 047.
- Reategui, R. 1997 *Amazonía peruana. Recursos naturales y biodiversidad*. Servicio de Publicaciones, Universidad Politécnica de Valencia.

- Roseann, Brockman, Ruth. 2010. Hydraulic Geometry Relationships and Regional Curves for the Inner and Outer Bluegrass Regions of Kentucky. University of Kentucky Master's Theses. Paper 56.
- Rosgen, D. (1994) "Applied River Morphology". Wildland Hydrology. Colorado.
- Schumm, Stanley A. (1977) The Fluvial System. New York, NY, USA: J. Wiley.
- <https://riverrestoration.wikispaces.com/Fluvial+geomorphology+2>
- Singh, V.P., 2003. On the Theories of Hydraulic Geometry. International Journal of Sediment Transport 18, 196-218.
- Spracklen, D. Arnold, S. & Taylor, C, 2012. Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests.
- Salati, E. a. (1984). Climatology of the Amazon region, . The Amazon, 86 - 126.
- Salati, E. D. (1979). Recycling of water in the Amazon, Brazil : an isotopic study . Water Resources Research, Volumen 15, Issue 5, 1250-1258.
- Salvador, Figueras, M. y Gargallo, P. (2013). Análisis Exploratorio de Datos - AED. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- Santini, Willian; Martinez, Jean-Michel; Espinoza, Raul; Cochenneau, Gerard; Vauchel, Philippe; Moquet, Jean-Sebastien; Baby, Patrice; Espinoza, Jhan-Carlos; Lavado, Waldo; Carranza, Jorge and Guyot, Jean-Loup. (2015). Sediment budget in the Ucayali River basin, an Andean tributary of the Amazon River. IAHS, 320 - 325.
- SENAMHI. (2008). Clasificación Climático del Perú. Lima: SENAMHI.
- Smith, Robert T. & Minton, Roland B. (2003). Cálculo I y II. Madrid - España: McGraw-Hill.
- Tuukki, Eeva; Jokinen, Paivi and Kalliola, Risto. (1996). Migaciones en el río Amazonas en las últimas décadas, sector confluencia ríos Ucayali y Marañón - Isla de Iquitos. Folia Amazónica , 111 - 130.
- US, E. . (2015). Matematica II. Longitud de una Curva. LEcción3. Curvas. Sevilla: EPS.
- Vázquez, H. I. (18 de Diciembre de 2005). Geopropolis. Obtenido de Tipos de estudio y métodos de investigación: [www.geopolis.com](http://www.geopolis.com)
- UC, 2003. Geomorfología Fluvial. Universidad del Cauca. Colombia. 60 pp.
- Wallace. A.R. 1853 A narrative of travels on the Amazon and Rio Negro, with an account of the native tribes, and observations on the climate, geology, and natural history of the Amazon valley. London: Reeve.
- [www.diariovoices.com.pe](http://www.diariovoices.com.pe).
- Zhang, R. y. (2006). Impact of Atlantic Multidecadal Oscillation on India/Sahel Rainfall and Atlantic Hurricanes. Geophysical.